

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERÍA TÉCNICA
FORESTAL



ARAUCARIA XXI

ORDENACIÓN AGROHIDROLÓGICA DE LA CUENCA
DEL “ETANG POUILLET”.

DEPARTAMENTO DEL SUDESTE. HAITÍ.

Autor: Ignacio Morales y Dolores

Tutora: Dra. Margarita Roldán Soriano (E.U.I.T. Forestal, UPM)

Cotutor: Dr. Nyankoma Gonomy (F.A.M.V., UEH)

Madrid, julio 2012

ORDENACIÓN AGROHIDROLÓGICA DE LA CUENCA DEL “ETANG POUILLET”. DEPARTAMENTO DEL SUDESTE, HAITÍ.

Autor: Ignacio Morales y Dolores

Tutora: Dra. Margarita Roldán Soriano (E.U.I.T. Forestal, UPM)

Cotutor: Dr. Nyankoma Gonomy (F.A.M.V., UEH)

Año de presentación: 2012

© UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, 2012, Todos los derechos reservados según lo dispuesto en el Art. 8.5. de la Normativa de Propiedad Intelectual en la Universidad Politécnica de Madrid, aprobada por Consejo de Gobierno de 22 de diciembre de 2005.

*“El bosque precede al hombre y
el desierto le sucede.”*

François René Chateaubriand (1768 – 1848)

Resumen

La cuenca del “Etang Pouillet” (Departamento del Sudeste, Haití), presenta unas tasas de erosión muy elevadas debido a la deforestación y a la práctica de la agricultura sin técnicas de conservación de suelos, lo que constituye un grave problema desde el punto de vista medioambiental y social, ya que la pérdida de productividad del suelo pone en peligro la seguridad alimentaria de los habitantes de la cuenca, mayoritariamente agricultores.

Para la evaluación de las tasas de pérdidas de suelo se ha utilizado la metodología propuesta por la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo, U.S.L.E. (*Universal Soil Loss Equation*).

Dicha evaluación estima pérdidas de suelo calificadas de altas (50 – 200 t·ha/año) o muy altas (> 200 t·ha/año) en casi el 90% de la superficie de la cuenca.

Debido a las altas tasas de pérdidas de suelo, se propone una intervención integral de la cuenca. En dicha intervención se combinarán actuaciones técnicas de conservación de suelos para frenar la degradación del mismo y se incidirá en el trabajo con las comunidades para mitigar el impacto que realizan sobre el medio y asegurar una mayor durabilidad de las actuaciones correctoras.

SUMMARY

The “Etang Pouillet” basin shows high erosion rates due to deforestation and farming practices without soil protection techniques. This constitutes a serious environmental and social problem, since the loss in soil productivity puts food security at risk for the -mostly farmers- basin residents.

Soil loss evaluation has been carried out using the methodology proposed by the *Universal Soil Loss Equation* (USLE).

This evaluation casts high (50 – 200 t·ha/yr) or very high (> 200 t·ha/yr) soil loss rates in nearly 90% of the basin area.

In light of the high soil losses, a comprehensive intervention of the basin is proposed. This intervention will combine soil preservation techniques, aimed at slowing down its degradation, with actions on the communities' work to mitigate their impact on the environment and ensure a longer persistence of the corrective measures.

Agradecimientos

Gracias en primer lugar a mi familia por su apoyo incondicional durante todos estos años. Especialmente a mi abuelo Jose Antonio, por despertar mi admiración por la naturaleza entre las encinas y los alcornoques de Sayago.

A David Palacios, verdadero ejemplo a seguir, personal y profesionalmente, por todo su apoyo y por darme la oportunidad de vivir una experiencia de estas características. Sin él esto hubiese sido imposible.

A mi compañera de aventura, Irma Fernández, por descubrirme la posibilidad de vivir esta experiencia y por todo lo que me ha ayudado.

Al experto forestal, Juan Moya, quien hizo más por mi formación en unos pocos días de campo que muchos años de universidad.

A mi tutora, Margarita Roldán, quien ha puesto una dedicación impagable en este proyecto, un verdadero placer haber trabajado con ella. Igualmente agradecer a Tasio Fernández y Leticia Carrero su ayuda cuando la necesité.

A Carlos Ramos y Santiago Vignote por extender al mundo universitario los proyectos de cooperación al desarrollo.

A mis amigos en España a los que me une el afecto mucho más que las cuerdas que usamos para escalar.

A la colonia española en Haití y en Jakmel, verdadera válvula de escape a los sinsabores del proyecto, sin los momentos de ocio en común, la estancia hubiese sido mucho más difícil. Aquí incluidos los médicos cubanos de Cayes Jakmel, especialmente el Dr. Robert Pardo.

A la gente del proyecto Araucaria, especialmente a Jaqueline Floraine quien hizo de anfitriona de lujo y me ayudó en todo lo que pudo en la adaptación a una cultura tan distinta. También a Kathia por velar por mi bienestar más allá de sus posibilidades.

A los profesores Nyankoma Gonomy y Jocelyn Louissaint, espero que esta experiencia se vaya repitiendo y mejorando en beneficio de ambas universidades.

A los haitianos en general, por darme una lección vital, a pesar de todo siempre hay un motivo para sonreír.

¡MUCHAS GRACIAS!

¡MESI ANPIL!

Siglas y acrónimos

AECID: Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo

ANAP: Agence National des Aires Protégées

BME : Bureau des Mines et de L'Énergie

CONAFOR : Comisión Nacional Forestal (Méjico)

CSC-NOAA : Costal Services Center- National Oceanic and Atmospheric Administration

DGM: Direction de la Géologie et des Mines

FAO: Food and Agriculture Organization

GPS: Global Positioning System

HEC-HMS: Hydrologic Engineer Center – Hydrologic Modeling System

IAHS: International Association of Hydrological Sciences

IDH: Índice de Desarrollo Humano

MINUSTAH: Mission de Stabilisation des Nations Unies en Haiti

MUSLE : Modified Universal Soil Loss Equation

OAH: Ordenación Agrohídrológica

OCB: Organisations Communautaires de Base

ODM: Objetivos del Milenio

ONAMET: Oficina Nacional de Meteorología de República Dominicana

PNUD: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation

SCS: Soil Conservation Service

SIG: Sistemas de Información Geográfica

UEH: Université d'État d'Haiti

UN : United Nations (Naciones Unidas)

USDA : United States Department of Agriculture

USLE: Universal Soil Loss Equation

ÍNDICE

MEMORIA

1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1. <u>La realidad de Haití</u>	1
1.1.1. Características generales de Haití y del Departamento del Sudeste.	
1.1.1.1. <i>División administrativa</i>	
1.1.1.2. <i>Geografía</i>	
1.1.1.3. <i>Demografía</i>	
1.1.1.4. <i>Historia</i>	
1.1.1.5. <i>Desarrollo humano y economía.</i>	
1.2. <u>Marco legal</u>	6
1.3. <u>Antecedentes</u>	9
1.4. <u>Objetivos del proyecto</u>	11
1.4.1. Objetivo general	
1.4.2. Objetivos específicos	
1.5. <u>Justificación</u>	12
1.5.1. Justificación técnica	
1.5.2. Justificación social	
1.5.3 Justificación económica	
1.6. <u>La ordenación agrohidrológica</u>	14
1.7. <u>Área de estudio</u>	15
1.8. <u>Trabajo desarrollado en Haití</u>	16
1.8.1. Recopilación de información bibliográfica y documentos de interés	
1.8.2. Recopilación de cartografía y datos meteorológicos	
1.8.3. Encuentros y reuniones con las comunidades	

1.8.4. Reconocimiento sobre el terreno y visitas a lugares de interés	
1.8.5. Otros trabajos realizados en Haití	
2. <u>DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA EN SU ESTADO ACTUAL</u>	18
2.1. <u>Situación</u>	18
2.1.1. Situación geográfica	
2.1.2. Situación administrativa	
2.2. <u>Complejo físico</u>	24
2.2.1. Clima	
2.2.1.1. <i>Clima General y Local</i>	
2.2.1.2. <i>Datos</i>	
2.2.1.3. <i>Índices climáticos relacionados con la humedad y la ecología</i>	
2.2.1.4. <i>Índices climáticos relacionados con la torrencialidad</i>	
2.2.2. Características geomorfológicas	
2.2.2.1. <i>Parámetros de forma</i>	
2.2.2.2. <i>Parámetros de relieve</i>	
2.2.2.3. <i>Parámetros de la red de drenaje</i>	
2.2.3. Geología y suelos	
2.2.3.1. Geología	
2.2.3.2. Suelos	
2.2.3.3. <i>Clases agrológicas</i>	
2.2.3.4. Erosión hídrica	
2.3. <u>Vegetación</u>	69
2.4. <u>Fauna</u>	72
2.5. <u>Estudio socioeconómico</u>	73
3. <u>HIDROLOGÍA</u>	76
3.1. <u>Caudales líquidos</u>	76
3.1.1. HEC-HMS 3.5	

3.1.2. Fórmula del IAHS (2003)	
3.1.3. Conclusiones sobre caudales líquidos	
3.2. <u>Caudales sólidos</u>	83
3.2.1. Factores que condicionan la pérdida de suelo	
3.2.2. Evaluación de la erosión superficial	
3.2.2.1. <i>U.S.L.E.</i>	
3.2.2.2. <i>M.U.S.L.E.</i>	
3.2.3. Conclusiones sobre caudales sólidos	
4. <u>SOLUCIONES TÉCNICAS</u>	102
4.1. <u>Técnicas de replanteo</u>	102
4.1.1. Utilización de nivel en “A”	
4.2. <u>Actuaciones</u>	104
4.2.1. En ladera	
4.2.2.1 <i>Tipos de actuaciones</i>	
<i>Zanjas de infiltración</i>	
<i>Albarradas</i>	
<i>Reforestación</i>	
<i>Manejo de cultivos</i>	
4.2.2. En cauces	
4.2.2.1. <i>Tipos de actuaciones</i>	
<i>Presas de piedra</i>	
<i>Presas de sacos</i>	
<i>Presas de Gaviones</i>	
<i>Revegetación de riberas</i>	
4.2.3. Control de cárcavas	
4.2.3.1. <i>Tipos de actuaciones</i>	
<i>Desmonte de taludes</i>	

Cabeceo de cárcavas

Presas de piedras o de gaviones

4.2.4. Concienciación social y talleres formativos.

4.3. <u>Matrices de actuaciones</u>	144
4.4. <u>Cronograma de actuaciones</u>	148
5. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	152

ANEXOS

<u>Anexo I.</u> CÁLCULO DE LA ETP (evapotranspiración potencial).....	154
<u>Anexo II.</u> CLIMODIAGRAMA DE WALTER-LIETH.....	158
<u>Anexo III.</u> MAPA DE PENDIENTES CON ARCGIS.....	163
<u>Anexo IV.</u> ANÁLISIS DE SUELOS.....	166
<u>Anexo V.</u> CLASES AGROLÓGICAS.....	170
<u>Anexo VI.</u> FAUNA.....	176

MAPAS

Mapa 1: Mapa de pendientes

Mapa 2: Mapa de pendientes > 30%

Mapa 3: Mapa de la red de drenaje

Mapa 4: Mapa litológico

Mapa 5: Mapa de vegetación

Mapa 6: Mapa de escenarios

Mapa 7: Mapa de factor K de la U.S.L.E.

Mapa 8: Mapa de factor LS de la U.S.L.E.

Mapa 9: Mapa de factor C de la U.S.L.E.

Mapa 10: Mapa de la U.S.L.E.

Mapa 11: Mapa de actuaciones

MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento nació con la idea de ser una herramienta de gestión integral de la cuenca del “Etang Pouillet” dentro del Proyecto Araucaria XXI/Haití de la AECID, y lo que es más importante servir de guía metodológica para futuras ordenaciones de cuencas en el país, ya que son numerosas las intervenciones que se hacen sin criterio técnico.

Por ello a lo largo de los capítulos y anexos que lo componen se ha intentado seguir un orden técnico, de tal manera que el estudio del medio físico se integre con las características socioeconómicas de la zona, para con su análisis se propongan una serie de actuaciones y soluciones técnicas que permitan la consecución de los objetivos del trabajo, los cuales se exponen más adelante.

Uno de los mayores problemas que se ha tenido para el estudio de la cuenca, ha sido la falta de datos. Esta circunstancia ha impedido en algunos casos utilizar metodologías más o menos modernas, y en otros casos ha obligado a recurrir a la adaptación de metodologías existentes, por lo que este trabajo presenta una componente de estudio importante.



Figura 1.1.: Localización de la zona de trabajo en la isla de La Española.

1.1. La realidad de Haití

Este capítulo tiene como objetivo conocer algunos datos sobre el país que permitan entender ciertos aspectos socioeconómicos y políticos que afectan al desarrollo del presente trabajo.

1.1.1. Características generales de Haití y del Departamento del Sudeste.

1.1.1.1. División administrativa

Haití consta administrativamente de 10 Departamentos (ver figura 2.1.), que se dividen en 142 Comunas, que a su vez se subdividen en Secciones Comunales y estas finalmente se dividen en las denominadas Habitaciones.

Hay un nivel intermedio entre los Departamentos y las Comunas, que son los “*Arroundissements*” que se podría traducir por prefectura o distrito. Estos son en total 42, así por ejemplo el departamento del Sudeste, está compuesto por 3 *Arroundissements*, los de Bainet, Jacmel y Belle Anse.

En el desarrollo de este documento, se hablará normalmente de las habitaciones que se encuentran dentro de la cuenca del “Etang Pouillet”, Sección Comunal de Macary, que se integra dentro de la Comuna de Marigot que forma parte del *Arroundissement* de Jacmel y por tanto parte del Departamento del Sudeste.

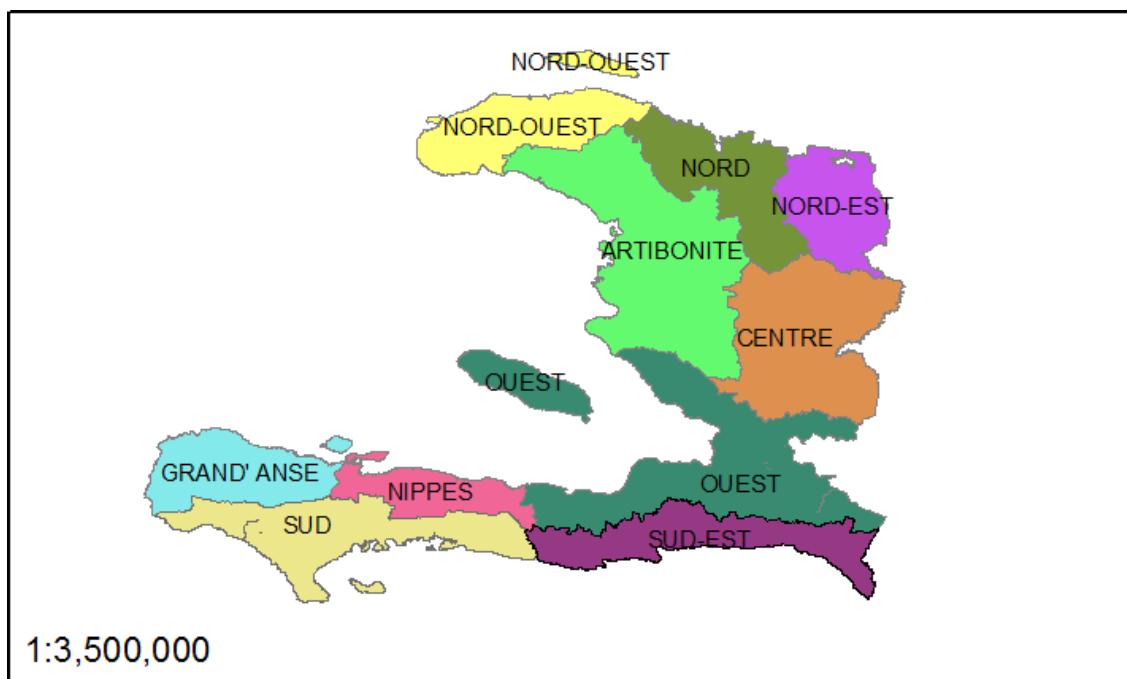


Figura 1.2.: Haití y los departamentos que lo componen. *Fuente: elaboración propia.*

1.1.1.2. Geografía

Haití, con una superficie total de 27.750 km², se encuentra en la parte occidental de la Isla de la Española, que comparte con República Dominicana, con la cual tiene 360 km de frontera terrestre. Al sur y al oeste se encuentra bañado por el Mar Caribe y al norte por el Océano Atlántico,

El área de estudio se encuentra en el Departamento del Sudeste que cuenta con 2.077 km², limita al Norte con el Departamento del Oeste, capital Puerto Príncipe, al Este con República Dominicana, al Sur con el Mar Caribe y al Oeste con los Departamentos del Sur y de Nippes.

El país presenta dos cadenas montañosas principales que se disponen siguiendo un eje este-oeste, formando las dos penínsulas, del norte y del sur. Entre ellas, el centro de Haití presenta un relieve poco accidentado.

En cuanto a su hidrografía, no presenta ríos navegables.

1.1.1.3. Demografía

Haití tiene una población de unos diez millones de habitantes, con una alta tasa de crecimiento, como se observa en la figura 2.3. cada cincuenta años se duplica dicha población. En 1960 eran algo menos de cuatro millones de habitantes, en la actualidad son diez millones y se prevé que para 2050/2060 alcancen los veinte millones. La tasa de fecundidad es de 3,2 hijos por mujer (urbana: 3 y rural: 4).

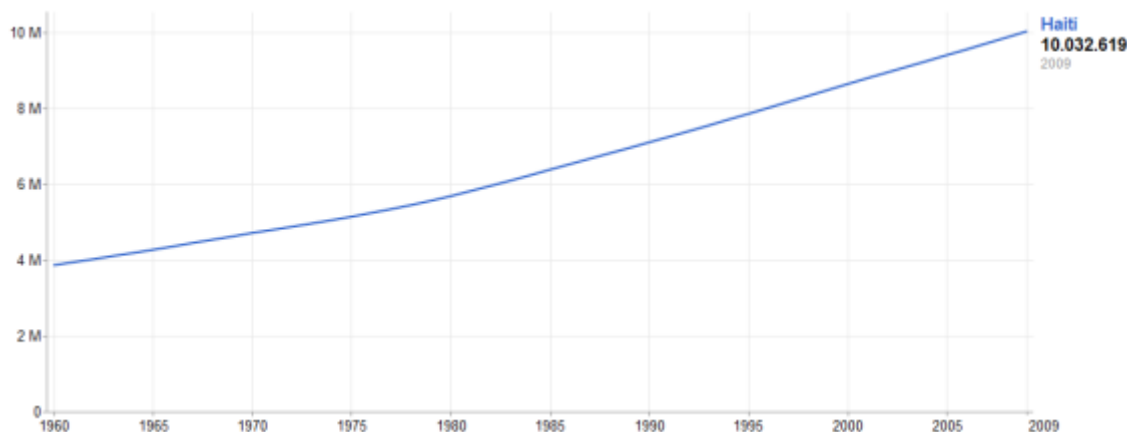


Figura 2.3.: Evolución de la población en Haití. *Fuente: Banco Mundial (2009).*

Como se observa en la figura 2.1. Haití se divide en diez departamentos, su población es la siguiente: Artibonite: 1.175.000; Centro: 627.000; Grand'Anse: 345.000; Nippes: 268.000; Norte: 875.000; Nordeste: 335.000; Noroeste: 490.000; Oeste: 3.637.000; Sur: 653.000 y Sudeste: 466.000.

El porcentaje de grupos étnicos es: negros 95%, mulatos y blancos 5%.

Los idiomas oficiales son el criollo haitiano (creole, *krèyol*) y el francés, hablado este último por el 20% de la población. La lengua materna es el *krèyol*, fundamental en el medio rural. El francés es mayoritariamente utilizado en las universidades y en estamentos gubernamentales, ministerios y parlamento.

Según el PNUD, el 48,5% de la población está alfabetizada y al menos medio millón de niños y niñas en edad escolar no asisten al colegio. En Haití la educación al igual que la sanidad es mayoritariamente privada, lo que hace que gran parte de la población no pueda acceder a ella.

1.1.1.4. Historia

Los primeros pobladores de Haití, llegaron a la isla varios miles de años antes de Cristo, posiblemente hacia el 7000 a. C. Su procedencia puede haber sido la Florida o Yucatán. Se trataba de cazadores, recolectores y pescadores, que indudablemente eran navegantes. A partir del año 300 d.C. se registra la presencia de cerámica y de agricultura introducidas por migraciones a las Antillas procedentes de la actual Venezuela. Tras la llegada a la isla de poblaciones de arahuacos, desde el año 1000 se desarrolla la cultura taína.

El 5 de diciembre de 1492, Cristóbal Colón llegó a La Española, convirtiéndola en posesión española hasta 1697, año en que se cede a Francia, para convertirse después en una de las colonias más ricas de Europa, debido al trabajo de esclavos negros provenientes de África subsahariana. En esta época la población nativa es prácticamente exterminada en su totalidad.

Fueron los esclavos negros, quienes tras una ceremonia vudú en Bois-Cayman el 14 de agosto de 1791 se sublevaron contra Francia. La revolución haitiana tuvo como protagonista a Toussaint-Louverture, quien la dirigió de 1793 a 1802, fecha en que fue capturado y desterrado a Francia donde murió encarcelado. Posteriormente Dessalines, en 1803, venció definitivamente a las tropas francesas y en 1804 declaró la independencia de Haití, proclamándose la primera república negra libre en el mundo. Haití ocupó la parte oriental de la isla (lo que hoy en día es República Dominicana) desde 1822 hasta 1844.

La independencia fue penalizada por Francia quien indujo un bloqueo contra el azúcar haitiano, de modo que la economía de la pequeña república se vio muy perjudicada. Haití se convirtió en una amenaza para las potencias hegemónicas ya que temían que el ejemplo de su independencia se expandiese a colonias, no en vano Haití se convirtió en el refugio de Simón Bolívar quien desde sus costas protagonizó numerosas expediciones para la independencia de Iberoamérica.

Muchos de los problemas actuales de Haití tienen su origen en el bloqueo económico y en el convulso siglo XX, que se caracteriza por la inestabilidad política. Bajo este pretexto Estados Unidos invadió la isla en 1915 y ejerció un control absoluto hasta 1934. A esta etapa le sigue la represiva

dictadura de los Duvalier, primero el padre, Francois Duvalier ("Papa Doc") y después el hijo Jean Claude ("Baby Doc"), del 1957 al 1986.

En 1991 J. Bertrand Aristide es elegido democráticamente presidente, cargo en el que estuvo apenas 8 meses hasta que fue depuesto por un golpe militar. En 1994 retoma la presidencia hasta 1996 pasando a ser presidente René Preval durante 5 años. En 2001 Aristide gana las elecciones y otra vez gobierna hasta 2004 cuando violentos episodios debido a su política de acercamiento a Cuba y Venezuela fuerzan la intervención de los "cascos azules" de la ONU bajo la Misión de las Naciones Unidas para la Estabilización de Haití (MINUSTAH). En 2006 René Preval fue elegido nuevamente presidente y las elecciones que debían ser celebradas en enero de 2010, fueron pospuestas por el terremoto del 12 de enero. Dicho terremoto tuvo una intensidad de 6,9 en la escala de Richter y epicentro cerca de la capital, Puerto Príncipe. Esta catástrofe dejó un saldo de más de trescientos mil muertos y un millón de damnificados. No fue hasta noviembre de 2010 cuando se celebró la primera vuelta de las elecciones que finalmente ganaría en segunda vuelta el actual presidente desde el 14 de mayo de 2011 Michel Martelly.

A la catástrofe del terremoto de 2010 hay que sumarle la temporada ciclónica de 2008 donde 4 tormentas tropicales y huracanes afectaron al país, con gran incidencia en el departamento del Sudeste. También hay que destacar el brote de cólera de noviembre de 2010 que causó la muerte a unas seis mil personas y más de ciento cincuenta mil afectadas. Sobre esta enfermedad las investigaciones apuntan que fue una mala depuración de las aguas de un destacamento de cascos azules nepalíes (portadores asintomáticos de la enfermedad) lo que inició la epidemia, rápidamente expandida por las nefastas condiciones de salubridad ya existentes en el país y potenciadas por el terremoto de 2010. Estas malas condiciones de salubridad son las que hacen prever un enquistamiento del cólera, ya que se considera que dicha enfermedad tarda en eliminarse unos 30 años en un país con buenos sistemas de saneamiento.

Estos apuntes históricos y de las catástrofes naturales recientes, explican muchos de los aspectos socioeconómicos y medioambientales que se tratan en este documento.

1.1.1.5. Desarrollo humano y economía.

Según los datos del PNUD de 2011 Haití ocupa el puesto 158 sobre 178 en índice de desarrollo humano (IDH). Más del 72% de la población vive bajo el umbral de la pobreza y cerca del 50% vive con menos de 1\$ al día.

El PIB per cápita en 2011 se estimó en 6731 \$. La moneda es el Gourde que equivale aproximadamente a 0,02€ (1€ = 50 gourdes).

1.2. Marco legal

El marco legal que regula los aspectos fundamentales que intervienen en una ordenación agrohidrológica se recogen en el *Código Rural Haitiano* en la **Ley de 24 de mayo de 1962**. En este documento se recogen los aspectos más trascendentes y se presentan a continuación:

Artículo 62 -. Erosión significa cualquier socavación, decapado o deslizamiento de tierra causado por la escorrentía del suelo o agua corriente, así como el desplazamiento masivo de las partículas del suelo por el viento.

Artículo 63 -. No se puede deforestar o roturar cualquier terreno con una pendiente de más de 30% en las zonas áridas, más de 40% en las áreas semiáridas, y más de 50% en las zonas húmedas.

Artículo 64 -. Un terreno será declarado zona árida, donde la precipitación media anual es de 750 mm, en la localidad o región en la que se encuentra el terreno. Un terreno será declarado zona semiárida, donde la precipitación media anual es de 750 mm o más, pero menos de 1.350 mm en la localidad o región en la que se encuentra el terreno.

Se declararán zonas húmedas, aquellas donde la precipitación media anual es de 1.350 milímetros o más en la localidad o región donde se encuentran. Los promedios anteriores se calculan con los datos de diez años consecutivos, por lo menos.

En ausencia de estadísticas de los diez años consecutivos, la clasificación de un terreno puede basarse tanto en los datos disponibles como en la naturaleza de la vegetación de la localidad o solamente basándose en la naturaleza de la vegetación a falta total de datos de precipitación.

Artículo 66 -. Cualquier terreno con una pendiente superior a 30% en las zonas áridas, a 40% en las zonas semiáridas y a 50% en las zonas húmedas, que estuviese ya roturado en la fecha de promulgación de este Código, deberá ser reforestado o plantado con especies forrajeras, incluso si ese terreno ya soporta otros cultivos. El plazo será establecido a tal efecto por personal cualificado del Departamento de Agricultura o de cualquier otro organismo competente.

Artículo 71 -. En todo caso los cultivos agrícolas serán dispuestos según curvas de nivel.

Artículo 75 -. El barbecho blanco o desnudo está prohibido en los terrenos en pendiente, el barbecho verde estará formado preferentemente por plantas enriquecedoras tales como gramíneas y leguminosas forrajeras.

Artículo 76 -. Los propietarios, arrendatarios u ocupantes de terrenos de ribera, de un río, un torrente o un manantial, deberán plantarlos de bambú, u otras especies adecuadas, en una anchura de 5 a 15 metros, dependiendo de la importancia del cauce, desde la orilla del río, del torrente o del manantial. Esta

plantación se llevará a cabo en ambos márgenes y todo alrededor del manantial.

Artículo 79 -. Está prohibido deforestar las laderas alrededores de los cauces en un radio de 15 metros. Los cultivos anuales o semipermanentes también están prohibidos. Las laderas y los bordes de estos cauces ya desforestadas deberán ser replantados en el plazo será fijado a los propietarios, arrendatarios u ocupantes de la tierra, por un agente cualificado del Departamento de Agricultura o de cualquier otro organismo competente.

El **Decreto de 12 de octubre de 2005**, *Sobre la gestión del medio ambiente y la regulación de la conducta ciudadana para un desarrollo sostenible*, realiza las siguientes puntualizaciones sobre la erosión, la desertificación y la agricultura.

Artículo 97 -. El Estado debe elaborar y aplicar, de manera transparente, una política nacional de lucha contra la desertificación y la degradación de suelos. Con este fin, el inventario de tierras no aptas a la agricultura y/o amenazadas de desertificación debe ser realizado.

Artículo 98 -. La agricultura conservacionista es declarada de interés nacional. Las disposiciones adecuadas serán tomadas por las instituciones competentes para fomentar su adopción.

Artículo 99 -. Los suelos expuestos a la erosión y que no son objeto de ninguna medida conservacionista serán declarados no aptos para la agricultura por el Ministerio de Medio Ambiente, según un procedimiento previamente notificado a su propietario.

Artículo 100 -. Los suelos declarados no aptos a la agricultura pasarán a ser jurisdicción de la ANAP (Agencia Nacional de las Áreas Protegidas) en el cuadro de un programa adecuado para la reforestación. Los propietarios recibirán una justa indemnización.

Todos los artículos anteriores son de difícil aplicación, ya que la falta de medios materiales y humanos, junto a la necesidad de resolver otros problemas en principio más acuciantes hacen que los esfuerzos se dirijan en otros sentidos. Como muestra de la no aplicación de las medidas propuestas por los artículos anteriores se incluye a continuación la foto 1.1. tomada en Kenscoff, cerca de Puerto Príncipe.



Foto 1.1.: Cultivo de especies anuales en la villa de Kenscoff sobre pendientes muy superiores al 50%. *Fuente: Elaboración propia.*

1.3. Antecedentes

Según describe el documento “Propuesta de proyectos Fin de Carrera del Proyecto Araucaria XXI/Haití de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo a la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes de la Universidad Politécnica de Madrid”.

“Tras la visita por parte del Director del Observatorio del Medio Ambiente y Vulnerabilidad del Ministerio de Medio Ambiente Haitiano, Monsieur Dwinel Belizaire, a diversas Universidades Españolas durante el mes de mayo de 2010, se hizo patente la disponibilidad para brindar colaboración y apoyo técnico por parte de estos estamentos en lo referente a la mitigación de riesgos naturales en Haití, y en concreto por parte de la Universidad Politécnica de Madrid, en la persona de su [entonces] Director de Cooperación, Don Jaime Cervera.

Por parte del Proyecto Araucaria XXI de la Cooperación Española, se ha contactado con la Escuela Superior de Ingenieros de Montes, en concreto con diversos profesores vinculados con el Grupo de Cooperación Forestal, para plantear una colaboración en ambos sentidos en las temáticas relacionadas con la hidrología, la producción y gestión forestales y la gestión de espacios naturales protegidos ya que se plantea en este documento el desarrollo de diversos proyectos fin de carrera que permitan, por una parte, dotar de apoyo técnico al equipo del Proyecto Araucaria XXI, de forma que puedan fortalecer los aspectos técnicos y de intercambio con los técnicos locales, y por otra, permitir a los alumnos enfrentar una temática real, de gran atractivo y complejidad. Se planteará en lo posible la ejecución de los mismos, ya que dadas las circunstancias de la realidad del país, como se describe a continuación en este pequeño documento, la necesidad de pasar a la acción sobre el territorio es imperiosa”.

Así pues, el presente trabajo trata de apoyar dos proyectos financiados por la AECID (Proyecto Araucaria XXI/Haití y el Proyecto de Desarrollo de la producción Acuícola y de la Pesca Continental del Sudeste). Como se expone a continuación, incide más directamente sobre los objetivos del Proyecto Araucaria XXI/Haití pero también es fundamental para la sostenibilidad del Proyecto de Acuicultura en el Etang Pouillet, ya que la erosión de la cuenca conduce al aterramiento de la laguna.

Proyecto Araucaria XXI/Haití:

Iniciado a finales de 2007, con un presupuesto superior a los dos millones de euros, y con una duración de hasta al menos finales del año 2011 (finalmente hasta abril de 2012), el Proyecto Araucaria XXI Haití tiene por objetivo general mejorar las condiciones medioambientales del Departamento del Sudeste mediante el refuerzo institucional, singularmente el Ministerio de

Medio Ambiente y las Administraciones Locales, así como la mejora de los sistemas productivos sostenibles.

Se articula por tanto en tres objetivos específicos:

- Fortalecer institucionalmente las administraciones públicas con competencias medioambientales, Ministerio de Medio Ambiente y Colectividades Territoriales, en el Departamento del Sudeste del país.
- Poner freno a la degradación medioambiental en el Departamento del Sudeste.
- Mejorar la seguridad alimentaria de las poblaciones de las Comunas del Sudeste mediante la producción familiar orgánica de alimentos para el autoconsumo. Programa PROHUERTA (con la cooperación Argentina).

1.4. Objetivos del proyecto

1.4.1. Objetivo general

Mejorar las condiciones medioambientales de la cuenca del “Etang Pouillet” mediante la ordenación agrohidrológica de la misma.

1.4.2. Objetivos específicos

- Mejorar e impulsar el conocimiento que se tiene del clima y del sistema hidrológico de la zona. Son muy pocos los estudios hechos en este sentido en la zona y hay una seria carencia de parámetros que se manejan a nivel mundial para el desarrollo de metodologías.

- Frenar la erosión de la cuenca vertiente del “Etang Pouillet”. Como se justifica en el capítulo 4, la situación es realmente grave en este sentido, se hace más que necesaria una intervención integral de la cuenca.

- Buscar una correcta estabilidad geomorfológica de la red fluvial. El avance remontante de las cárcavas es preocupante, un pequeño lago ya fue aterrado y la sedimentación en el “Etang Pouillet” es importante.

- Aumentar el potencial paisajístico y ecológico de la zona.

- Mejorar la calidad de vida de los habitantes de la cuenca.

1.5. Justificación

1.5.1. Justificación técnica

Esta ordenación agrohidrológica, está técnicamente justificada por el cumplimiento de la reglamentación y el cumplimiento de los objetivos de frenar la erosión en la cuenca y buscar una correcta estabilidad geomorfológica de la red fluvial a lo que se suma mejorar e impulsar el conocimiento que se tiene del clima y del sistema hidrológico de la zona.

Por otra parte y a nivel nacional, los cálculos más optimistas cifran en un 3% la superficie forestal y una pérdida anual de superficie en torno al 0,5%. Si esta tendencia no se invierte, en pocos años Haití estará completamente deforestada. Dentro de la cuenca sólo se conservan 1,4 ha de bosque lo que supone un 0,4% de la superficie total.

La suma de las altas tasas de erosión y la baja cobertura vegetal, hacen la intervención en esta cuenca una necesidad medioambiental.

1.5.2. Justificación social

Dentro de la cuenca del “Etang Pouillet” viven unas 13000 personas, la gran cantidad de alimentos demandada en relación a la superficie de la cuenca, hace necesaria una intervención que mejore o al menos mantenga la productividad de la tierra, para garantizar la seguridad alimentaria de sus habitantes, ya que no es raro que durante la época ciclónica se queden aislados de núcleos de población de mayor entidad que les puedan suministrar víveres y otros elementos de primera necesidad.

Como es costumbre en Haití, los trabajos necesarios para el manejo de la cuenca serán hechos por la población local, lo que reportará unos beneficios económicos que permitirán aliviar las economías familiares.

Mucho más importantes aunque de medida más compleja, son los beneficios indirectos: disminución de la erosión, mejora de la capacidad productiva, disminución de la sedimentación en el “Etang Pouillet”.

1.5.3 Justificación económica

La ordenación agrohidrológica contribuye a corto plazo, a mejorar las rentas de los habitantes que ejecuten las actividades y a medio y largo plazo, mejorar la productividad de los terrenos intervenidos.

Los beneficios directos derivados de la ejecución del proyecto son los generados por el aumento de la producción agrícola, que traerá mayores rentas a los productores.

Haití se encuentra actualmente en un proceso de relance del turismo, tanto nacional como internacional. La existencia de una zona inundada junto con su posición estratégica en la ruta de subida al Parque Nacional de “La Visite” hace que la zona tenga posibilidades de desarrollo económico mediante la potenciación de sus valores paisajísticos.

1.6. La ordenación agrohidrológica

La Ordenación Agrohidrológica de las cuencas vertientes, surge como una técnica encaminada al uso correcto de sus recursos naturales constituyentes, así como a la corrección de las situaciones degradadas, derivadas del uso inadecuado de los mismos por actividades anteriores, normalmente no planificadas, que provocaron la desestabilización del conjunto del sistema, precisamente por no considerar la conexión existente entre los distintos elementos que la integran (Mintegui Aguirre, J.A. y Lopez Unzu, F. (1990))

Trata de conseguir un desarrollo integral y satisfactorio en el funcionamiento global de la cuenca hidrográfica, que abarque desde los aspectos meramente técnicos, hasta los relativos a la mejora de la calidad de vida de sus moradores; pues no hay que olvidar que lo habitual es que las cuencas estén pobladas desde antaño, y se necesita de esa población rural para acometer muchos de los trabajos y obras de restauración hidrológico-forestal, así como contar de su convencimiento para llevar a cabo la mayoría de las labores de conservación de suelos (Mintegui Aguirre, J.A. y Lopez Unzu, F. (1990)).

La ordenación agrohidrológica (OAH) de cuencas hidrográficas es el paso previo a los clásicos proyectos de restauración hidrológico-forestal. En ella se realiza una ordenación del territorio en el sistema cuenca.

Según la Real Academia Española (RAE) significan:

Ordenación (del latín, *ordinatio*): Colocación de las cosas en el lugar que les corresponde.

Agrología (del latín, *agro*-(campo) y *-logía* (ciencia), ciencia del campo): Parte de la agronomía que estudia el suelo en sus relaciones con la vegetación.

Agroforestal (del latín, *agro*-(campo) y *-forestales* (relativo a los bosques)): Perteneciente o relativo a las plantaciones agrícolas y forestales.

Hidrología (del latín, *hidro*-(agua) y *-logía* (ciencia), ciencia del agua): Parte de las ciencias naturales que trata de las aguas.

1.7. Área de estudio

Antes de describir de la cuenca de estudio se procede a la aclaración de algunos términos:

Etang: término adoptado del francés para no modificar la toponimia original. Literalmente traducido al castellano estanque o laguna. Se trata de masas de agua que se acumulan en pequeñas mesetas colinares, su superficie no suele exceder las 10 ha debido a lo abrupto del terreno donde se asientan.

Ravinas: procede de la castellanización del término francés “ravine”. Literalmente traducido al castellano: barranco, quebrada, torrente. Se trata de cursos de agua fuertemente estacionales. Capaces de desaguar avenidas en pocas horas e incluso minutos. Tienen cuencas de recepción normalmente inferiores a las 100 ha y un carácter torrencial muy marcado.

La cuenca del “Etang Pouillet” está situada en la Sección Comunal de Macary, Comuna de Marigot, Departamento del Sudeste de Haití. El área del lago se encuentra a unas dos horas en vehículo 4 x 4 de la capital del Departamento del Sudeste, Jacmel. La capital nacional, Puerto Príncipe, se encuentra a unas ocho horas a pie ya que la carretera es impracticable en ciertos puntos incluso para vehículos 4 x 4.

Toda esta información se encuentra ampliada en el capítulo “3.1. SITUACIÓN”.

1.8. Trabajo desarrollado en Haití

1.8.1. Recopilación de información bibliográfica y documentos de interés

La búsqueda y recopilación de documentos que pudieran resultar interesantes, se hizo en casi todos los casos de forma física y personalmente, ya que hay poca información publicada en internet y la petición vía correo electrónico a las instituciones locales no dio en casi ningún caso resultado. La información se obtuvo de la biblioteca de la Facultad de Agronomía y Medicina Veterinaria de la Universidad del Estado de Haití, la cual se consultó en varias ocasiones y de las bibliotecas de otras entidades como son: oficina de la Dirección Departamental de Medio Ambiente en el Sudeste, Oficina de la FAO en Marigot y oficina de la Fundación Seguin en el Parque Nacional de La Visite.

Cabe destacar en este apartado la ayuda y colaboración del Responsable de Proyectos de Sector Productivo y Medio Ambiente de la AECID, D. David Palacios, quien suministró una gran cantidad de bibliografía y documentos de interés así como cartografía y datos meteorológicos.

1.8.2. Recopilación de cartografía y datos meteorológicos

La cartografía de la que se dispuso fue la proporcionada por la AECID, en formato digital para su utilización con Sistemas de Información Geográfica (SIG) con equidistancia entre curvas de nivel de 20 m y las ortofotos con una resolución de 1m x 1m.

Los datos meteorológicos se obtuvieron de diversos documentos de la FAO y el PNUD, como así se indica en los apartados correspondientes. Al respecto se contactó con la ONAMET (Oficina Nacional de Meteorología de República Dominicana) para consultar si disponían de registros de eventos extremos y curvas de intensidad-duración-frecuencia de precipitaciones, pero no se obtuvieron datos de interés.

1.8.3. Encuentros y reuniones con las comunidades

Durante las visitas a campo se intentó conocer las necesidades de la población y la opinión que les merecían ciertas actuaciones de conservación de suelos. Información muy útil ya que se obtuvieron puntos de vista interesantes que de otra forma no se hubieran considerado. Esta información ha sido tenida en cuenta sobre todo en el capítulo de actuaciones.

Se preveía hacer una reunión con las comunidades al término de la estancia en Haití para cambiar impresiones sobre la problemática de la cuenca y sus posibles soluciones pero por motivos ajenos al autor no pudieron llevarse a cabo.

1.8.4. Reconocimiento sobre el terreno y visitas a lugares de interés

Fueron numerosas las visitas a la cuenca del “Etang Pouillet”, donde se obtuvieron las posiciones de lugares de interés mediante receptor GPS. Se hizo un muestreo de suelos, se delimitó la superficie de la laguna, se completó la red hidrográfica y se tomaron datos de campo acerca de sistemas de cultivo, fauna y vegetación, tanto agrícola como forestal.

1.8.5. Otros trabajos realizados en Haití

A parte de las actividades propias para el desarrollo de este trabajo, en Haití se realizaron otras actividades que sirvieron en muchos casos para el mejor conocimiento de las características del país y de las técnicas de manejo de cuencas, dentro de la función de apoyo técnico al equipo del Proyecto Araucaria XXI. A continuación se presentan una lista con los trabajos realizados:

- Diseño y realización de inventarios forestales en el Parque National “La Visite” para evaluar la incidencia del fuego y sus consecuencias sobre la regeneración.
- Diseño junto al experto chileno Juan Moya Cerpa, de obras de corrección y restauración hidrológica en la “Ravine Baissanthe”.
- Apoyo a los técnicos del Proyecto Araucaria XXI/Haití y de Prohuerta en la recogida de datos con receptores GPS en campo y posterior análisis con sistemas de información geográfica.
- Impartición de curso teórico/práctico, de 12 horas de duración, sobre uso de receptores GPS y sistemas de información geográfica, para 47 técnicos de diferentes proyectos financiados por la AECID en el departamento del Sudeste.
- Ayuda en la supervisión de las obras de “Cash for Work” realizadas en Cayes Jacmel.
- Realización de manuales que puedan servir de ayuda para la planificación y seguimiento de las tareas del proyecto Araucaria XXI y otros proyectos similares, como la realización de mapas en ArcGis 9.3, climodiagramas, manejo de receptores GPS para la obtención de datos sobre el terreno y de programas para su posterior transferencia al ordenador.

2. DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA EN SU ESTADO ACTUAL

2.1. Situación

La cuenca de estudio tiene 315,1 ha y vierte sus aguas al “Etang Pouillet”. Se encuentran por completo dentro de la Sección Comunal de Macary. Es la tercera Sección Comunal y forma parte de la Comuna de Marigot, Departamento del Sudeste, Haití. Las aguas drenadas por esta cuenca, forman dos cauces principales, el más oriental, la “Ravina Baissanthe” y el más occidental la “Ravina Pierre Charles” ambos se juntan en el “Etang Pouillet”. Aguas abajo se encuentran con cauces de escasa entidad hasta llegar a parar a la “Grand Riviere” de Marigot que desemboca sus aguas en el Mar Caribe.

La parte alta de la cuenca linda con el Parque Nacional de “La Visite”, del cual se han fijado recientemente sus límites, ya que en el Decreto de 4 de abril de 1983 por el que se declara dicho parque, se menciona únicamente que se protegerán 2000 ha alrededor del “Massif de la Selle”. Dicha delimitación abarca unas 6827 ha. Así pues la cuenca linda en parte por el oeste y el norte con el Parque Nacional.

En las páginas siguientes se mostrará la localización de la cuenca sobre mapas.

2.1.1. Situación geográfica

Latitud y longitud

La localización de la cuenca referida al sistema de coordenadas WGS-84, UTM zona 18N, es la siguiente:

	X	Y
punto situado más al Norte	787813,88	2028329,37
punto situado más al Este	787849,64	2028222,89
punto situado más al Sur	785815,51	2025439,69
punto situado más al Oeste	785274,14	2025961,58

Tabla 2.1.: Coordenadas UTM de los límites de la cuenca

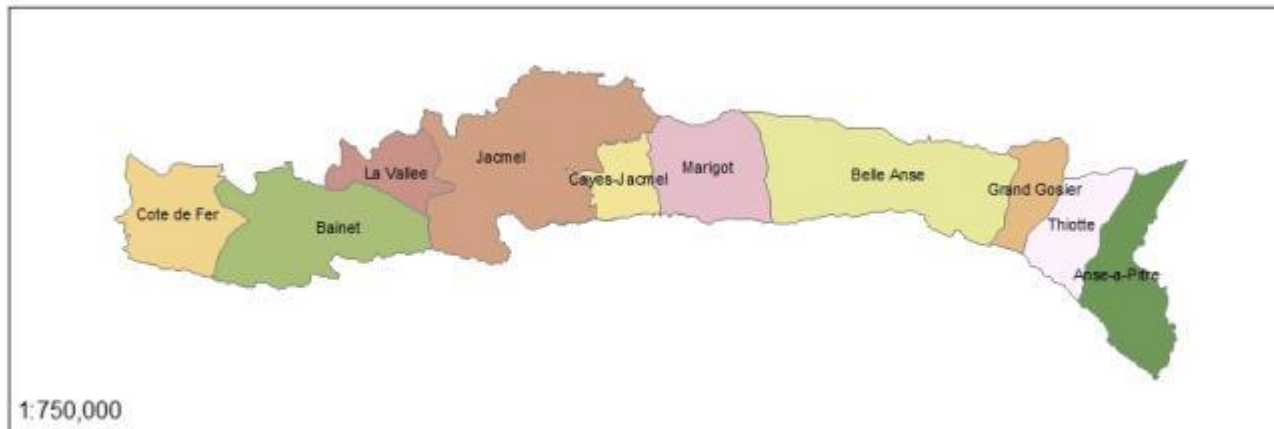
Localización del Departamento del Sudeste



Situación de Haití

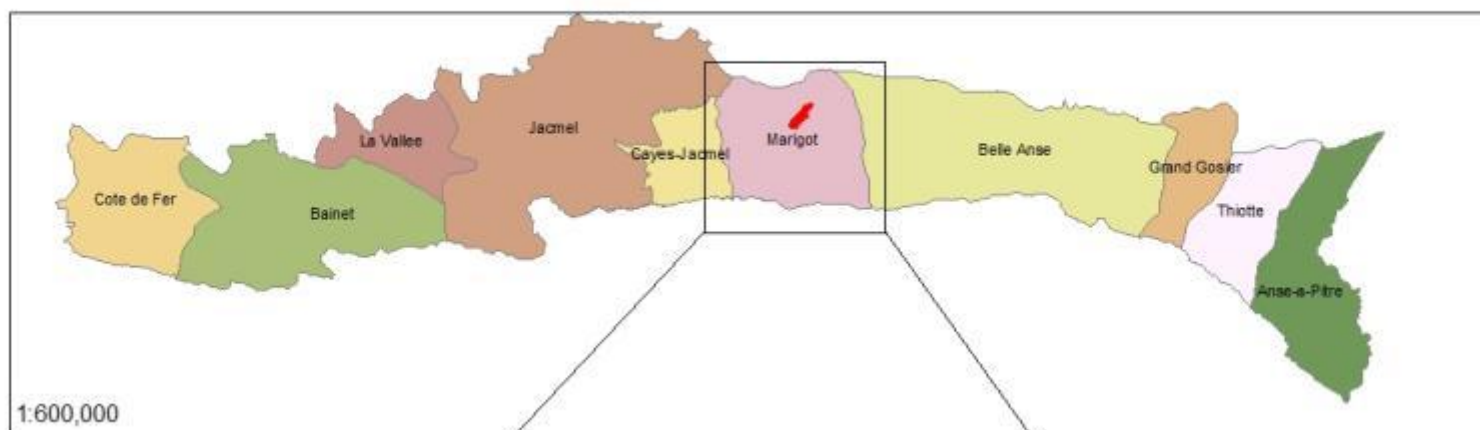


Situación del Departamento del Sudeste en Haití

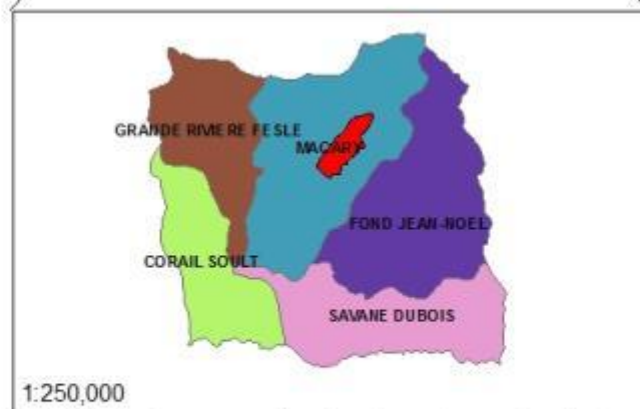


Situación de la comuna de Marigot en el Departamento del Sudeste

Localización de la cuenca del "Etang Pouillet"



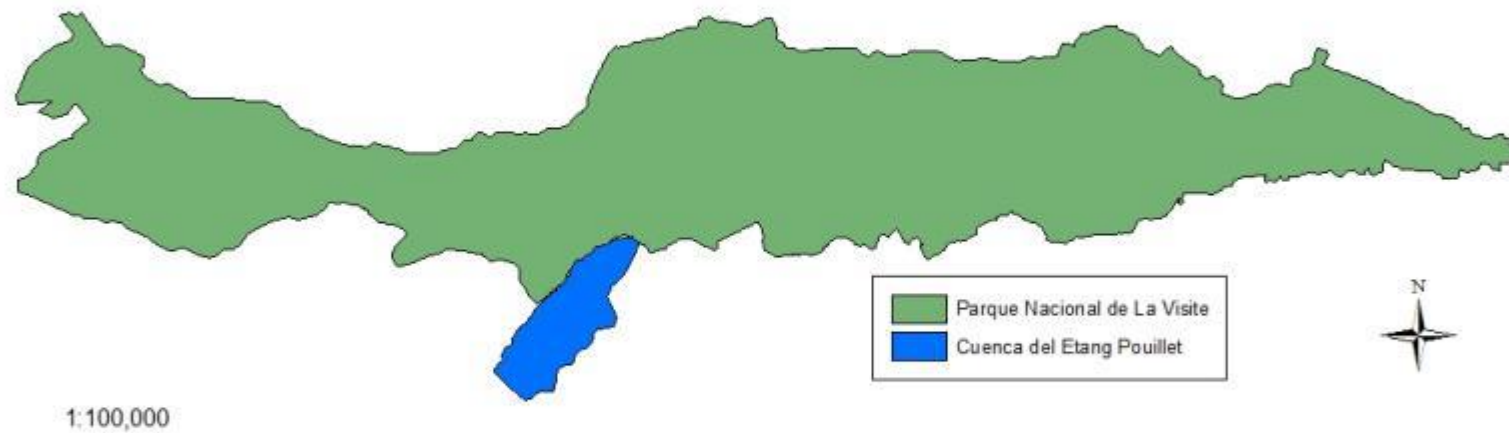
Situación de la cuenca en el
Departamento del Sudeste



Situación de la cuenca en las Secciones Comunales dentro
de la Comuna de Marigot



Localización de la cuenca del Etang Pouillet respecto al Parque Nacional de La Visite



Altitudes

La cuenca alcanza su máxima altitud en su extremo norte, sobre la divisoria que la separa de la cuenca que vierte a la “Rivière Blanche”, sobre los 1740 m.s.n.m. La mínima altitud de la cuenca se localiza en la presa de gaviones en el extremo occidental del “Etang Pouillet” a 900 m.s.n.m.

Superficie

La superficie de la cuenca es de 315,10 ha, con un perímetro de 8791,07 m. Se trata de una cuenca pequeña, en un terreno escarpado, donde hay una gran variación de la altitud comparada con la extensión de la cuenca.

2.1.2. Situación administrativa

Como se ha comentado anteriormente, la cuenca del Etang Pouillet se encuentra completamente dentro de la Sección Comunal de Macary, Comuna de Marigot, Departamento del Sudeste, Haití.

Comunidades

Dentro de la cuenca del “Etang Pouillet”, se encuentran cuatro habitaciones de escasa entidad: Bas Chauta, situada en una llanura entre los 1220 y 1240 m.s.n.m. y Haute Chauta, enclavada sobre los 1500 m.s.n.m. Éstas pueden ser consideradas como una sola, recibiendo el nombre de Chauta. Ambas se sitúan al norte del Etang Pouillet. Al oeste, lindando con la lámina de agua, se sitúa la habitación de Bourgeois y también lindando con la lámina de agua pero por el sur, se encuentra la habitación de Goyave.

A parte de estos núcleos más o menos definidos, existen numerosas viviendas dispersas de forma aleatoria, sobre todo en torno a los caminos.

La falta de cartografía a nivel de habitación, hace imposible determinar extensiones y calcular densidades poblacionales.

Según un notable de la zona, el señor Victor Merióne, no hay documentos oficiales que indiquen la población de la zona, estimándose en unas 13000 personas, repartidas de la siguiente forma: 4500 en Chauta, 3500 en Goyave y 5000 en Bourgeois. Este punto se desarrollará más adelante en el Estudio socioeconómico (2.2.5.).

Estas comunidades están dedicadas en su mayoría a la agricultura, cuyos productos comercializan en mercados locales. Para ello suelen hacer largos trayectos y los beneficios son reducidos debido a la excesiva y homogénea oferta provocada por la comercialización únicamente de productos de temporada, ya que no existe infraestructura para diversificar la oferta.

Figuras de protección.

Como ya se ha comentado anteriormente, la parte superior de la cuenca linda con el Parque Nacional de “La Visite”, ya que está más o menos cubierta por una masa de *Pinus occidentalis*, y es donde el cuerpo de seguridad medioambiental realiza su trabajo, aunque no se persigue muy eficazmente la corta de árboles, la extracción de teas (lo que se conoce como “bois gras”) y la quema y roturación con fines agrícolas dentro de la superficie boscosa.

El hecho que hasta mayo de 2012 no se haya tenido una delimitación del parque, ha hecho prácticamente imposible su protección y su gestión, así como de las zonas aledañas que podrían constituirse en lo que se denomina zona tampón. Junto a la delimitación, la actual redacción del plan de gestión, son elementos esenciales para poder trabajar de una forma coherente.

2.2. Complejo físico

2.2.1. Clima

2.2.1.1. *Clima General y Local*

La isla de La Española se encuentra de forma general bajo la influencia del clima Tropical Monzónico, con las siglas “Am” propias de dicha clasificación. Este clima se caracteriza porque todos los meses tienen una temperatura media superior a los 18 °C y las precipitaciones anuales son constantes excepto con algún mes por debajo de los 60 mm y precipitaciones exageradas algunos meses, siempre superiores a la evaporación, Köppen (1900)

Según Cámaras Artigas, R. et al (2005), esta clasificación de Köppen se relaciona con la clasificación de Holdridge, usada más frecuentemente en la región del Caribe y algunos países sudamericanos, de la siguiente manera el equivalente al clima Tropical Monzónico para Köppen es para Holdridge *Bosque seco subtropical* si se presentan sequías y *Bosque húmedo subtropical* si no las tiene.

Temperaturas:

La variación de temperatura durante el día es más acusada que la variación de la media de las temperaturas durante el año, siendo la primera de unos 12°C y la segunda unos 5°C.

A continuación se exponen los datos medios de temperatura, recogidos en FAO (2011) para la Comuna de Marigot.

- Variación de la temperatura en °C:
 - Mínima: 14 – 20.
 - Máxima: 25 – 30.

Vientos:

El régimen de vientos dominantes son los alisios del noreste que soplan durante todo el año, reduciendo su actividad de marzo a octubre cuando actúan los alisios del sureste.

Precipitaciones:

Dicho régimen general de vientos unido a los vientos diarios locales de valle montaña, es lo que origina los distintos tipos de precipitación que a continuación se presentan:

- Lluvias convectivas, se forman debido a la evaporación y ascenso del agua de las capas bajas a causa de la fuerte insolación de estas. Tras subir a las capas superiores más frías, se condensa y precipita, normalmente de forma torrencial al principio de la tarde volviendo a la calma al final de esta.

- Lluvias orográficas, se producen en las zonas montañosas donde las masas de aire húmedo se condensan al enfriarse, debido al ascenso forzado que provoca el relieve.

- Los ciclones son vientos que soplan de forma circular ascendente y convergen alrededor de un área caliente de baja presión. Es el aire cargado de humedad del mar el que al ascender condensa y da lugar a la nubosidad y las precipitaciones, es por eso que cuando más caliente está el mar debido a la insolación, más probables y frecuentes son los ciclones. Si sobrepasa los 119 km/h se considera huracán. Suelen tomar una trayectoria de este a oeste virando finalmente a noroeste. En la zona de estudio estos fenómenos son frecuentes, fijándose un período de retorno de 4 años.

- Los anticiclones son vientos que soplan de forma circular descendente alrededor de un área fría de alta presión produciendo tiempo claro y seco. El posicionamiento del anticiclón de las Bermudas induce una pequeña época seca en los meses de julio y agosto.

Igual que en el caso de las temperaturas, a continuación se exponen los datos medios de precipitación, recogidos en FAO (2011) para la Comuna de Marigot.

- Variación anual en la pluviometría: 820 – 2500 mm.

2.2.1.2. Datos

Dentro de la cuenca de estudio no existe ninguna estación de registro de datos, ni pluviométricos ni termométricos. Aunque si se dispone de los datos pluviométricos de la estación de Seguin, próxima a la cuenca de estudio, situada a unos 5 km hacia el este. Dichos datos permitirán obtener los parámetros necesarios para los distintos cálculos que se precisan en la caracterización de la cuenca

Los **datos pluviométricos** que se recogen a continuación, han sido obtenidos de PNUD (2009), para ello se han usado dos criterios generales:

1. no dar por válido ningún año que tenga más de 4 meses incompletos
2. no dar por válido ningún año que no pertenezca a una serie mínima consecutiva de 4 años.

Este criterio se ha escogido para intentar otorgar a los datos una cierta consistencia y representatividad estadística. Así pues los 18 años válidos se encuentran dentro del período de 1953 a 1971.

No siendo objeto de este proyecto, se reseña que se ha notado una cierta relación entre la estabilidad política histórica y la fiabilidad y calidad de los datos pluviométricos. Es de destacar que durante la dictadura de François Duvalier, los registros son mejores en cantidad y calidad.

DATOS DE PRECIPITACIONES EN LA ESTACIÓN DE SEGUIN (1700 m.s.n.m)

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
1953	50,5	0,0	29,0	44,5	309,0	205,0	288,0	151,5	166,0	145,0	100,0	32,1	1520,6
1954	20,0	188,0	75,5	47,0	317,0	183,0	129,0	189,5	344,5	1092,5	67,5	21,5	2675,0
1955	47,5	108,0	6,0	36,0	212,0	316,5	113,5	201,5	240,5	231,5	72,5	17,0	1602,5
1956	42,5	46,0	129,0	134,5	230,0	23,0	131,5	265,0	124,5	258,5	147,0	8,0	1539,5
1957	26,8	23,2	44,0	36,0	140,0	56,0	52,0	114,0	218,0	196,8	114,4	32,1	1053,3
1959	10,0	2,0	19,0	281,0	172,0	89,0	187,0	104,0	124,0	170,0	148,0	34,0	1340,0
1960	38,0	34,0	126,0	255,0	244,0	184,0	234,0	171,0	142,0	222,0	80,0	25,0	1755,0
1961	14,0	26,0	171,0	289,0	431,0	220,0	234,0	221,0	102,0	273,0	92,0	35,0	2108,0
1962	5,0	7,0	38,0	163,0	176,0	246,0	198,0	228,0	115,0	210,0	151,0	28,0	1565,0
1963	20,1	17,0	55,0	123,0	361,0	199,0	276,0	335,0	128,0	1619,0	145,0	51,0	3329,1
1964	8,0	18,0	16,0	165,0	80,0	167,0	117,0	505,0	277,0	257,0	18,0	32,1	1660,1
1965	6,0	39,1	58,1	23,0	346,0	78,0	135,0	150,0	24,0	20,0	46,0	9,0	934,2
1966	20,0	6,0	75,0	145,0	281,0	150,0	269,0	210,0	440,0	208,0	214,0	27,0	2045,0
1967	26,0	39,1	23,0	48,0	197,0	207,0	44,0	131,0	222,0	154,0	116,0	26,0	1233,1
1968	42,0	26,0	24,0	133,8	112,0	269,0	44,0	131,0	222,0	154,0	116,0	26,0	1299,8
1969	49,0	17,0	28,0	284,0	263,0	251,0	179,0	285,0	374,0	273,0	127,0	94,0	2224,0
1970	27,4	71,0	56,5	41,0	273,0	246,0	306,0	376,0	495,0	186,0	72,0	46,0	2195,9
1971	30,0	36,0	72,0	159,0	518,0	193,0	141,0	369,0	199,0	312,0	233,0	34,0	2296,0

Min	5,0	0,0	6,0	23,0	80,0	23,0	44,0	104,0	24,0	20,0	18,0	8,0	934,2
Max	50,5	188,0	171,0	289,0	518,0	316,5	306,0	505,0	495,0	1619,0	233,0	94,0	3329,1
Med	26,8	39,1	58,1	133,8	259,0	182,4	171,0	229,9	219,9	196,8	114,4	32,1	1799

Tabla 2.2.: Datos de precipitaciones de la estación de Seguin (en mm)

En la tabla anterior se pueden apreciar datos en rojo, estos se han estimado mediante la media de los datos pertenecientes al mismo mes en los distintos años, con lo cual no se induce una variación sobre la media mensual y se puede obtener una precipitación total anual. Ya que de otra manera tendríamos de un período muy corto.

Siendo el anterior método de estimación el más pobre, es el único posible, ya que la cuenca no se encuentra dentro de la zona de influencia de otras estaciones con datos fiables, por lo que el uso de otros métodos como el de Thyessen no ha sido posible. La pobreza de los datos de otras estaciones más o menos cercanas, impide implementar métodos geoestadísticos para la simulación de datos pluviométricos.

En el caso de las precipitaciones, no se hacen correcciones altitudinales ya que en esta zona las lluvias más importantes desde el punto de vista hidrológico y erosivo son de carácter ciclónico, las cuales no están influenciadas por la orografía.

Como se puede comprobar más adelante, la altitud media de la cuenca se ha establecido en 1368 m.s.n.m. lo que se tiene en cuenta al hacer las consiguientes correcciones, ya que los datos pluviométricos y los termométricos que se usan están referidos a la población de Seguin, la cual se sitúa a 1700 m.s.n.m. con lo que se tiene una diferencia de 332 m.

En cuanto a los **registros termométricos**, se desconoce una fuente suficientemente fiable, así que se toman como referencia los valores medios de temperatura que se da para Seguin en PNUD (2009)

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T ^a (°C)	10	11	11	12	13	14	14,5	14,9	14,5	14	13,5	10,5

Tabla 2.3.: Datos de temperatura media mensual para la estación de Seguin.

Sabiendo que según se asciende en altura en esta zona, la temperatura disminuye según un gradiente que oscila alrededor de 0,55 °C por cada 100 metros de altura, se procede a la corrección de los datos termométricos de 1,8 °C para la construcción de una estación meteorológica ficticia situada en la altitud media de la cuenca.

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T ^a (°C)	11,8	12,8	12,8	13,8	14,8	15,8	16,3	16,7	16,3	15,8	15,3	12,3

Tabla 2.4.: Datos de temperatura media mensual corregidas para la estación ficticia propuesta en la altitud media de la cuenca a 1368 m.s.n.m.

A continuación se va a realizar un análisis con los datos de precipitación y temperatura en el área de estudio, mediante la utilización de ciertos índices, para la correcta caracterización del clima en la cuenca del “Etang Pouillet”.

2.2.1.3. Índices climáticos relacionados con la humedad y la ecología

Ficha hídrica: balance hídrico de Thornthwaite

Para la elaboración de la ficha hídrica de la estación ficticia creada para la cuenca, se han utilizado los datos pluviométricos y termométricos expuestos anteriormente.

El procedimiento a seguir para rellenar la ficha hídrica se describe en el Anexo I.

En la tabla 2.5 se recoge la clasificación climática de Thornthwaite, donde ETC es la Eficacia Térmica del Clima, obtenida a partir de la suma de las ETP mensuales (ver tabla 2.6) e I_h es el Índice Hídrico.

ETC (mm)	CLIMA	I_h	CLIMA
> 1140	Megatérmico	> 100	Perhúmedo
de 570 a 1140	Mesotérmico	de 20 a 100	Húmedo
de 285 a 570	Microtérmico	de 0 a 20	Subhúmedo
de 142,5 a 285	De tundra	de -20 a 0	Semiseco
< 142,5	Glacial	de -40 a -20	Semiárido
		de -60 a -40	Árido

Tabla 2.5.: Clasificación climática de Thornthwaite (1948)

Y a la vista de los resultados de la ficha hídrica:

- $ETC = \sum ETP = 698,2 \text{ mm}$
- $I_h = \frac{100 \cdot S - 60 \cdot D}{ETC} = \frac{100 \cdot 1068,0 - 60 \cdot 13,2}{698,8} = 151,7$

Se puede afirmar que la cuenca del “Etang Pouillet” responde a un clima *Mesotérmico* y *Perhúmedo*.

Además, analizando los valores de precipitación y de evapotranspiración se concluye que en la cuenca no va a haber déficits de agua. De hecho sólo enero y febrero presenta un escaso déficit hídrico. Se trata pues de unas buenas condiciones climáticas para el desarrollo de la cubierta vegetal.

A continuación se presenta la tabla 2.6, donde se recoge el resumen de los cálculos hechos en el Anexo I., para realizar la caracterización climática según Thornthwaite (1948).

Meses	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Jun.	Julio	Agosto	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
T	11,8	12,8	12,8	13,8	14,8	15,8	16,3	16,7	16,3	15,8	15,3	12,3	14,5
P	26,8	39,1	58,1	133,8	259,0	182,4	171,0	229,9	219,9	332,4	114,4	32,1	1798,9
I	3,67	4,15	4,15	4,65	5,17	5,71	5,98	6,21	5,98	5,71	5,44	3,91	60,73
a	1,45												
ETP sin corr.	41,9	47,2	47,2	52,6	58,2	64,0	67,0	69,4	67,0	64,0	61,1	44,5	684,0
N	11,0	11,4	11,9	12,4	12,8	13,1	13,0	12,6	12,1	11,6	11,1	10,9	4378,0
d	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
ETP	39,7	41,8	48,3	54,4	64,2	69,9	75,0	75,3	67,5	63,9	56,5	41,8	698,2
S	0,0	0,0	9,7	79,4	194,8	112,5	96,0	154,6	152,3	268,4	57,9	0,0	1125,7
D	12,9	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,7	25,3
R	137,7	135,2	144,9	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	
ETRMP	39,2	41,6	48,3	54,4	64,2	69,9	75,0	75,3	67,5	63,9	56,5	41,8	697,5
SF	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5
DC	0,0	137,7	144,9	224,3	344,8	262,5	246,0	304,6	302,3	418,4	207,9	150,0	2743,4

Tabla 2.6.: Resumen de cálculos para la clasificación climática de Thornthwaite (1948)

donde:

T: temperatura media mensual y anual en °C; **P**: precipitación media mensual y total anual en mm; **I**: índice de calor mensual y anual; **a** = $675 \cdot 10^{-9} \cdot I^3 - 771 \cdot 10^{-7} \cdot I^2 + 1792 \cdot 10^{-5} \cdot I + 0,49239$; **ETP_{sin corr.}**: evapotranspiración sin corregir; **N**: número máximo de horas de sol mensual y anual dependiendo de la latitud; **d**: número de días del mes; **ETP**: evapotranspiración potencial mensual y total anual en mm; **S**: superávit mensual y total anual en mm; **D**: déficit mensual y total anual en mm; **R**: reserva mensual de agua en el suelo en mm; **ETRMP**: evapotranspiración real máxima posible mensual y total anual en mm; **SF**: sequía fisiológica mensual y total anual en mm; **DC**: drenaje calculado mensual y total anual del suelo en mm.

Climodiagrama de Walter-Lieth

El climodiagrama de Walter-Lieth es uno de los más utilizados a nivel mundial y se apoya fundamentalmente en una hipótesis expresada por Gaussen en 1952 (Gomez Sanz, V. (2005)): “un mes presenta aridez cuando el valor de las precipitaciones, en mm, es inferior al doble de la temperatura media de ese mes, expresada en °C.”

El procedimiento para la realización y la definición de conceptos asociados a dicho tipo de climodiagrama se encuentran desarrollados en el Anexo II.

A continuación se muestra el climodiagrama de Walter-Lieth para la estación ficticia creada con el fin de representar las condiciones climáticas de la cuenca del “Etang Pouillet”.

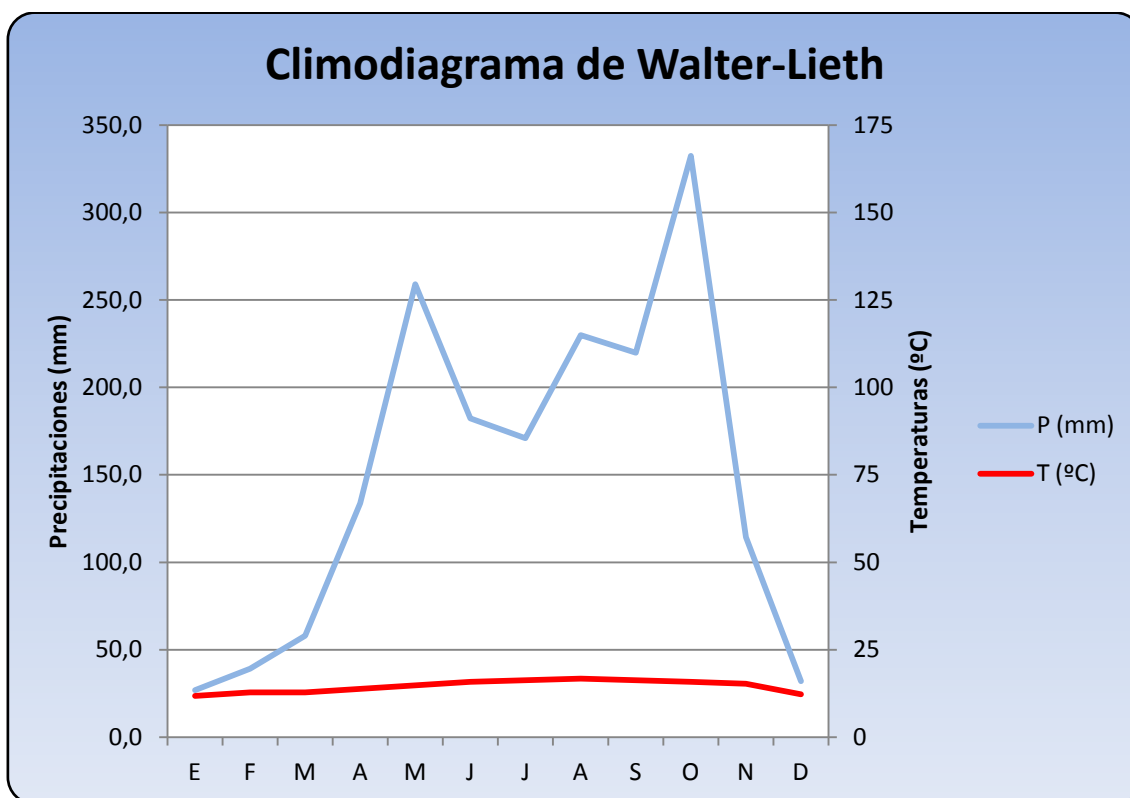


Figura 2.1.: Climodiagrama de Walter-Lieth. *Fuente: Elaboración propia.*

Altitud sobre el nivel del mar (m):	1368
Número de años observados y registrados:	18
Temperatura media anual (°C):	14,5
Precipitación media anual (mm):	1799
Intervalo de aridez (meses):	0
Intensidad de la aridez (meses):	0
Período vegetativo (meses):	12

Clasificación climática de Turc

La expresión empleada por Turc para caracterizar el clima de una zona es:

$$D = \frac{P}{\left(0,9 + \frac{P^2}{L^2}\right)^{0,5}}$$

Donde:

$$L = 300 + 25 \cdot T + 0,05 \cdot T^3$$

P, la precipitación anual (mm)

T, la temperatura media anual (° C)

Haciendo:

$$D = P \rightarrow P^2/L^2 = 0,1$$

$$P_2 = (0,1)^{0,5} \cdot L = 0,316 \cdot L$$

Siendo P_2 la precipitación anual que hace $P = D$, y llamando $P_1 = 2 \cdot P_2 = 0,632 \cdot L$, y utilizando ambos valores como límites, Turc estableció la siguiente clasificación:

$P > P_1 \rightarrow$ *clima húmedo*

$P_2 < P < P_1 \rightarrow$ *clima semiárido*

$P < P_2 \rightarrow$ *clima árido*

Como no se dispone de registros de temperaturas anuales, si no simplemente una media, se va a calcular este índice para el año medio, con $P = 1798,9$ mm y $T = 14,5^\circ$ C.

AÑO	P (mm)	T (° C)	L	P_1	P_2	CLIMA
Medio	1799	14,5	814,93	515,04	257,52	HÚMEDO

Tabla 2.7.: Clasificación climática según Turc para el año medio en la cuenca del Etang Pouillet.

En la tabla 2.7 se recogen los parámetros para el cálculo de la clasificación climática de Turc, obteniéndose con dicha clasificación un clima húmedo.

2.2.1.4. Índices climáticos relacionados con la torrencialidad

Índice de agresividad del clima de Fournier (F)

Es, junto con el índice R, el índice utilizado comúnmente para estudiar la influencia del clima en la erosionabilidad. Se expresa por:

$$F = \frac{p^2}{P}$$

Donde:

p, es la precipitación en mm, del mes más lluvioso del año

P, es la precipitación total anual en mm.

AÑO	p	p ²	P	F
1953	309,00	95481,00	1520,60	62,79
1954	1092,50	1193556,25	2675,00	446,19
1955	316,50	100172,25	1602,50	62,51
1956	265,00	70225,00	1539,50	45,62
1957	218,00	47524,00	1053,30	45,12
1959	281,00	78961,00	1340,00	58,93
1960	255,00	65025,00	1755,00	37,05
1961	431,00	185761,00	2108,00	88,12
1962	246,00	60516,00	1565,00	38,67
1963	1619,00	2621161,00	3329,10	787,35
1964	505,00	255025,00	1660,10	153,62
1965	346,00	119716,00	934,20	128,15
1966	440,00	193600,00	2045,00	94,67
1967	222,00	49284,00	1233,10	39,97
1968	269,00	72361,00	1299,80	55,67
1969	374,00	139876,00	2224,00	62,89
1970	495,00	245025,00	2195,90	111,58
1971	518,00	268324,00	2296,00	116,87

Tabla 2.8.: Índice de agresividad de Fournier .

Valor medio:

Factor de Fournier (F)	135,3
------------------------	-------

Valores extremos:

Valor máximo	787,3
--------------	-------

Valor mínimo	37,1
--------------	------

En la tabla 2.8 se recogen los valores de precipitación del mes más lluvioso del año (p) y de la precipitación total anual (P) para el cálculo del Índice de agresividad del clima de Fournier (F) según la expresión que se ha detallado anteriormente.

Este índice se podría comparar con otros valores de cuencas cercanas y así crear un mapa de agresividad de la lluvia.

La gran variabilidad de los datos nos indica que la precipitación en esta zona no sigue patrones predecibles.

Índice de Fournier Modificado (F')

Esta expresión fue propuesta para el cálculo del factor R de la U.S.L.E. por Arnoldus (1977) en localidades donde no había los datos necesarios para el cálculo de R. Arnoldus realizó unos estudios, donde se ponía de manifiesto el pobre coeficiente de correlación ($r^2 = 0,55$) entre el Índice de Fournier y el factor R de la U.S.L.E. Para ello se utilizaron 178 estaciones, 164 de las cuales estaban en los Estados Unidos y las otras 14 en el Oeste de África.

Usando los mismos datos de precipitación mensual y anual, Arnoldus (1977) propuso la siguiente modificación al Índice de Fournier, recogida en Renard, K y Freimund, Jeremy (1994):

$$F' = \frac{\sum p_i^2}{P}$$

Donde:

p_i , es la precipitación en mm del mes i.

P, es la precipitación anual en mm.

De esta forma el coeficiente de correlación, respecto al valor R de la U.S.L.E., aumentó notablemente ($r^2 = 0,83$).

Introduciendo esta modificación, Arnoldus (1977) garantiza que al aumentar la precipitación total anual, aumenta dicho índice. Cosa que no pasaba antes ya que si aumentaba la precipitación en los meses que no eran el más lluvioso, aumentaba la precipitación anual, y consecuentemente disminuía el índice.

Arnoldus concluye que las relaciones obtenidas usando el F' deberían ser aplicadas sólo en localizaciones sin regiones climáticas homogéneas. Como es el caso de Haití.

En la tabla 2.9 se recogen los valores de precipitación mensual acumulada y elevada al cuadrado ($\sum p_i^2$) y de la precipitación total anual (P) para el cálculo del Índice de Fournier Modificado (F') según la expresión que se ha detallado anteriormente.

AÑO	$\sum p_i^2$	P	F'
1953	308385,16	1520,60	202,80
1954	1547437,50	2675,00	578,48
1955	330830,75	1602,50	206,45
1956	283595,25	1539,50	184,21
1957	143296,49	1053,30	136,05
1959	230052,00	1340,00	171,68
1960	337363,00	1755,00	192,23
1961	546014,00	2108,00	259,02
1962	291677,00	1565,00	186,38
1963	3038341,01	3329,10	912,66
1964	475004,41	1660,10	286,13
1965	175167,42	934,20	187,51
1966	528397,00	2045,00	258,38
1967	192924,81	1233,10	156,46
1968	212052,44	1299,80	163,14
1969	568936,00	2224,00	255,82
1970	667643,01	2195,90	304,04
1971	686666,00	2296,00	299,07

Tabla 2.9.: Índice de de Fournier Modificado

Valor medio:

Factor de Fournier modificado (F')	274,47
------------------------------------	--------

Valores extremos:

Valor máximo	912,66
--------------	--------

Valor mínimo	136,05
--------------	--------

El valor medio de 274,47 se utilizará para el cálculo del factor pluvial "R" de la U.S.L.E.

2.2.2. Características geomorfológicas

2.2.2.1. Parámetros de forma

Índice de compacidad o de Gravelius

Este índice establece la relación entre el perímetro de la cuenca y el de un círculo de igual superficie, clasificándose posteriormente las cuencas en categorías morfológicas en función del valor que toma. Cuanto más irregular sea la cuenca, mayor será su coeficiente de compacidad. Para una cuenca perfectamente circular $K_c = 1$, y cuanto más se aleje K_c de 1 más alargada será la cuenca.

Responde a la expresión:

$$K_c = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

P, es el perímetro de la cuenca

A, es la superficie de la cuenca

En la cuenca del “Etang Pouillet”:

$$P = 8,770 \text{ km} = 87,70 \text{ hm}$$

$$A = 315,10 \text{ ha} = 315,10 \text{ Hm}^2$$

$$K_c = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}} = 0,28 \cdot \frac{87,70}{\sqrt{315,10}} = 1,383$$

En la tabla 2.10 se recoge la clasificación de cuencas según el valor de K_c .

Tipo de cuenca	Valor de K_c
Casi redonda a ovalo-redonda	1,00 – 1,25
Ovalo-redonda a ovalo-oblonga	1,25 – 1,50
Ovalo-oblonga a rectangular-oblonga	1,50 – 1,75

Tabla 2.10.: Clasificación de las cuencas según el valor de K_c

De acuerdo con esta clasificación, la cuenca del “Etang Pouillet”, se puede clasificar como ovalo-oblonga, al estar más cerca de 1,5 que de 1,25.

2.2.2.2. Parámetros de relieve

Amplitud de relieve o máximo desnivel

Se define como la diferencia entre las cotas máxima y mínima de la cuenca.

$$\text{Amp} = H_{\max} - H_{\min} = 1740 - 900 = 840 \text{ m}$$

Curva hipsométrica

La curva describe gráficamente la superficie acumulada por encima de una cota y sirve para representar el relieve de una cuenca.

La información queda representada gráficamente como la distribución de la cuenca vertiente según tramos de altitud. En ordenadas aparecen las distintas cotas en metros, y en abscisas la superficie de la cuenca que se halla por encima de dichas cotas.

En la tabla 2.11 que se presenta a continuación, se recogen los resultados de este estudio, y en la página siguiente se puede ver la expresión gráfica de los mismos, mediante la curva hipsográfica para superficie en valores absolutos.

Intervalo		Área (ha)	Área acumulada	
Cota inferior	Cota superior		ha	%
900	1000	68,44	315,10	100,00
1000	1100	37,05	246,66	82,02
1100	1200	20,35	209,61	72,29
1200	1300	47,86	189,26	66,94
1300	1400	36,25	141,40	54,36
1400	1500	44,40	105,15	44,84
1500	1600	22,24	60,75	32,18
1600	1700	32,55	37,51	27,07
1700	1740	2,90	2,96	1,26

Tabla 2.11.: Áreas entre curvas de nivel y área acumulada por encima de ellas en la cuenca del Etang Pouillet.

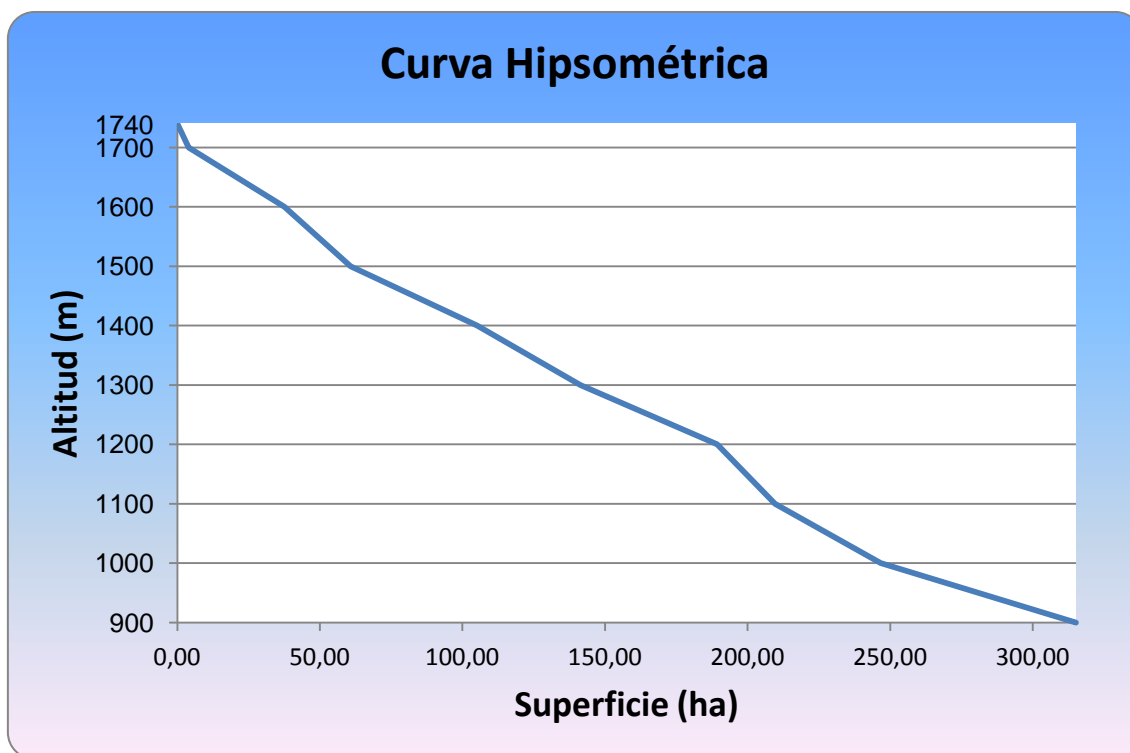


Figura 2.2.: Curva Hipsométrica de la cuenca del Etang Pouillet.

En la figura anterior se puede observar que la pendiente en la cuenca es bastante uniforme aunque la zona entre los 1600 y 1500 y la zona entre los 1200 y 1100 presentan pendientes sensiblemente mayores.

Pendiente media

El estudio de la pendiente de una cuenca tiene gran importancia, puesto que, por ejemplo, la velocidad del flujo de agua (que depende de la pendiente) influye en el tiempo de respuesta de la cuenca.

Para este tipo de trabajos lo más eficaz es contar con un mapa de pendientes o clinométrico, en el que queden reflejadas las zonas de distinta pendiente en las laderas de la cuenca. En la *Figura 2.2. Mapa de pendientes de la cuenca del “Etang Pouillet”*, las superficies ocupadas por cada intervalo de pendientes definido se recogen en la tabla 2.12. Los intervalos de pendientes son los propuestos por la FAO, ya que son los de mayor aceptación y utilización en Haití.

Intervalo	Superficie (ha)	Superficie (%)
0 - 2 %	42,80	13,58
2 - 5 %	6,52	2,07
5 - 8 %	3,74	1,19
8 - 16 %	41,17	13,06
16 - 30 %	88,46	28,07
30 - 45 %	66,34	21,05
> 45 %	66,07	20,97
<i>Total</i>	315,10	100,00

Tabla 2.12.: Superficie ocupada por los diferentes intervalos de pendientes en la cuenca del Etang Pouillet.

$$p = \frac{D \cdot L}{A}$$

Donde:

- D: equidistancia entre curvas de nivel en metros
- L: longitud total de las curvas de nivel en metros
- A: superficie de la cuenca en m²

En este caso:

- D = 20 m
- L = 51828,91 m (este dato se ha obtenido sumando las longitudes de las curvas de nivel generadas en la tabla de atributos mediante ArcGis 9.2.1)
- A = 315,10 ha = 3151000 m²

$$p = \frac{D \cdot L}{A} = \frac{20 \cdot 51828,91}{3151000} = 0,3299 \rightarrow 33,0\%$$

Se trata de una pendiente media muy elevada, que da una idea de lo abrupto de la cuenca y de su carácter torrencial.

El siguiente mapa se realizó con la herramienta “Slope” dentro de la extensión “3D Analyst” del programa ArcGIS 9.2.1. como se muestra en el Anexo III.

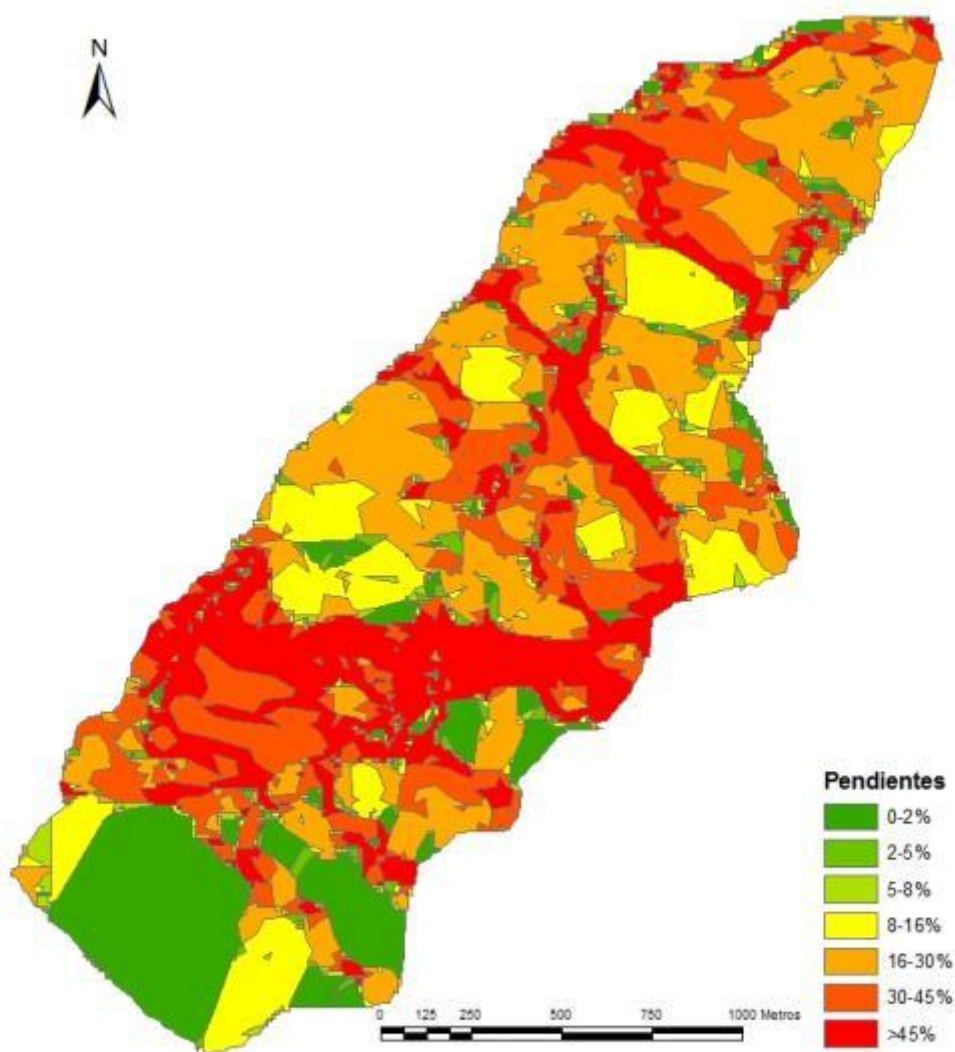


Figura 2.3.: Mapa de pendientes de la cuenca del "Etang Pouillet". Fuente: *Elaboración propia*.

Altitud media

Viene referida al nivel del mar y se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$H_{\text{media}} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{(H_i \cdot S_i)}{S}$$

Donde:

- S: superficie (km²)
- S_i: superficie entre cada dos curvas de nivel (km²)
- H_i: altitud media entre cada dos curvas de nivel (m)

$$H_{\text{media}} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{(H_i \cdot S_i)}{S} = \frac{3985,55}{3,15} = 1367,78 \text{ m} \rightarrow 1368 \text{ m}$$

En la tabla 2.13, se recoge la superficie ocupada por los diferentes intervalos de altitud. El resultado final, es una media de la altitud ponderada por la superficie.

Intervalo		H _i (m)	S _i (km ²)	H _i ·S _i (m·km ²)
Cota inferior	Cota superior			
900	1000	950	0,68	650,21
1000	1100	1050	0,37	389,05
1100	1200	1150	0,20	234,03
1200	1300	1250	0,48	598,25
1300	1400	1350	0,36	489,38
1400	1500	1450	0,44	643,80
1500	1600	1550	0,23	360,19
1600	1700	1650	0,34	553,58
1700	1740	1720	0,04	67,07
		Total	3,15	3985,55

Tabla 2.13.: Superficie ocupada por los diferentes intervalos de altitud en la cuenca del Etang Pouillet.

Dicha altitud media, 1368 m, servirá, entre otras cosas, para hacer las correcciones necesarias de temperatura debido a la altitud, de la estación termométrica ficticia creada a partir de la estación de Seguin, y así caracterizar el clima en la cuenca.

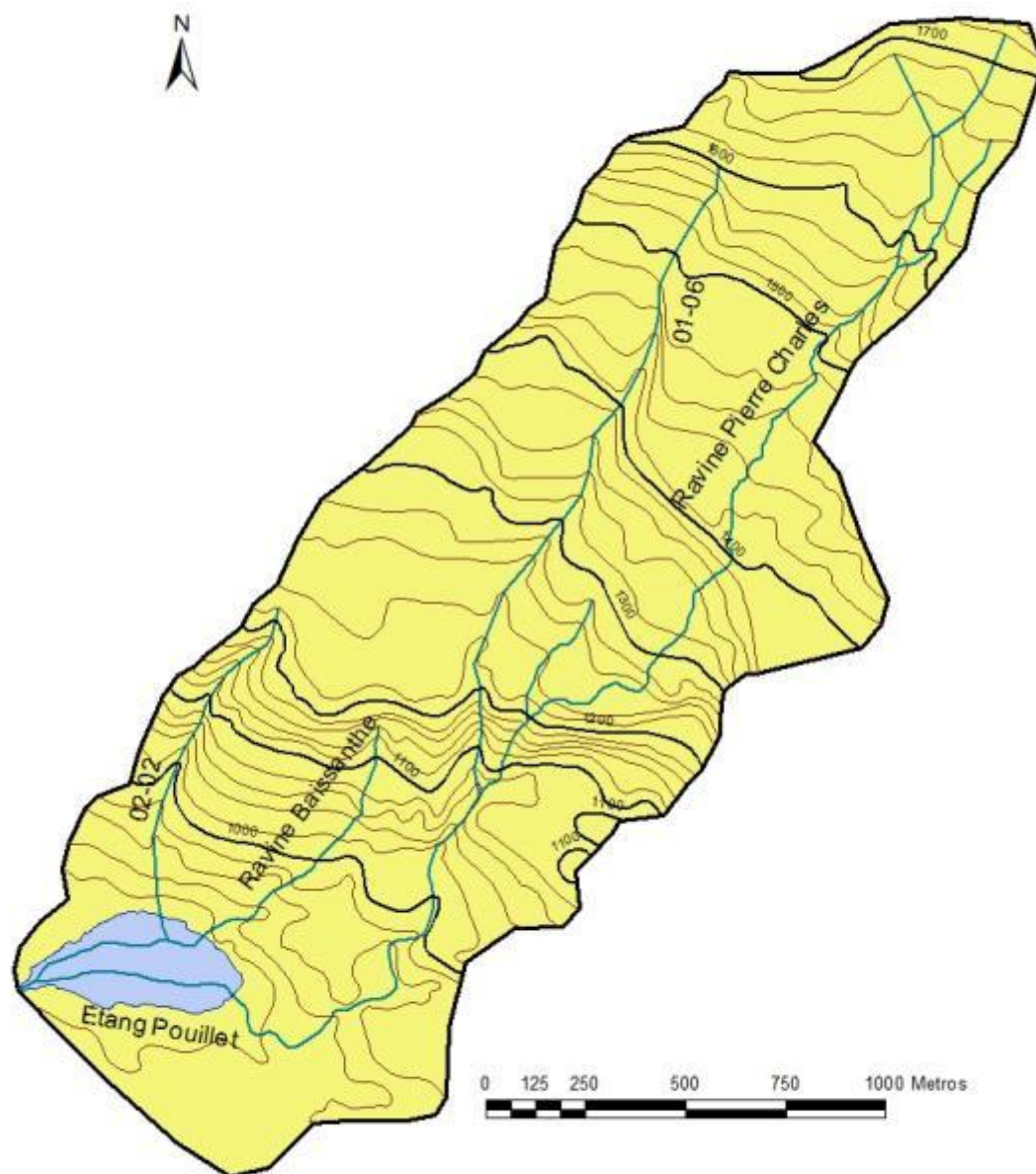


Figura 2.4.: Mapa de red de drenaje de la cuenca del "Etang Pouillet". *Fuente: Elaboración propia.*

Perfil longitudinal de las ravinatas más importantes

Como paso previo a la cuantificación de la pendiente media de las ravinatas más importantes, consideradas estas como las que tienen un recorrido mayor a un kilómetro, se va a hacer una representación gráfica de las ravinatas de la cuenca, recogida en la siguiente figura.

A continuación se presentan una serie de gráficas. En abscisas se representa la longitud del cauce, en metros, y en ordenadas la altitud del terreno, en metros también.

Como se ve en la figura anterior, los cauces han sido nombrados según el sistema decimal. Así pues la “Ravina Pierre Charles” correspondería al cauce 01 y la “Ravina Baissanthe” correspondería al cauce 02.

Se han representado únicamente cauces con más de 1 km de longitud ya que el escaso recorrido de otros cauces, junto al poco detalle de la cartografía disponible, hace que la representatividad de los perfiles sea escasa.

En las figuras 2.5 a 2.8 aparecen representados los perfiles longitudinales de las ravinatas. En el perfil de las ravinatas “01”, “02” y “02-02” se observa en el tramo final de todas ellas una disminución importante de la pendiente debido a la llanura de inundación del “Etang Pouillet”. En el perfil de la ravina “01-06” no se observa dicho fenómeno ya que esta intercepta a la ravina “01” a la altitud de 1060 m.

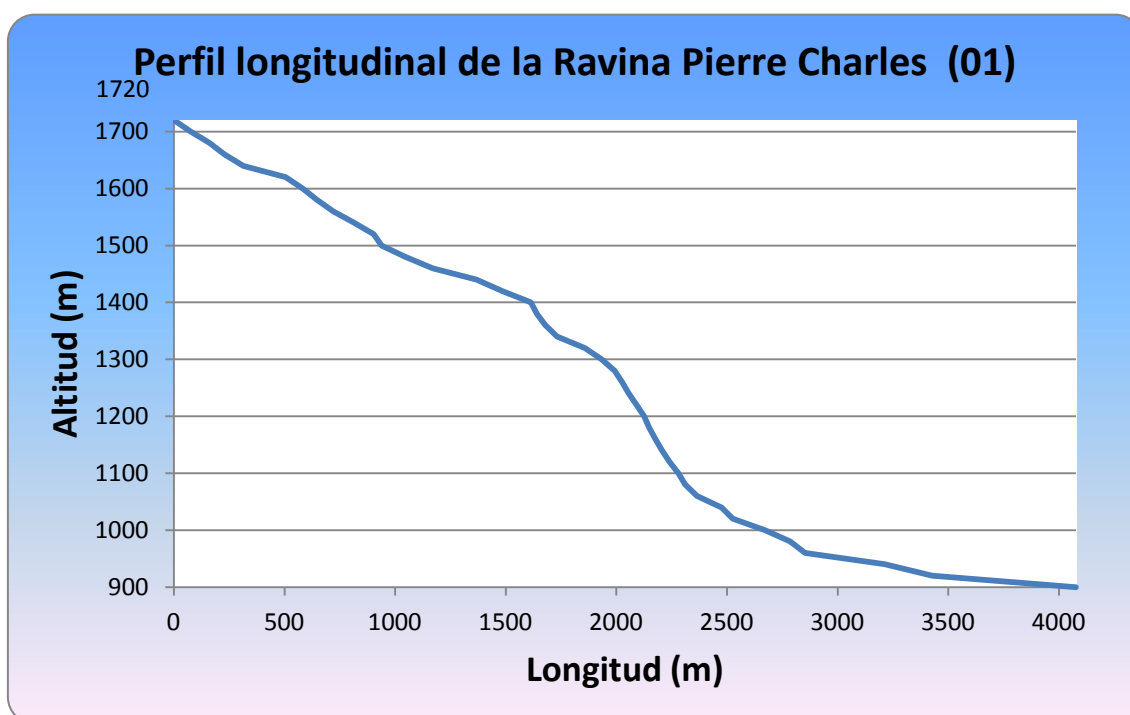


Figura 2.5.: Perfil longitudinal de la Ravina Pierre Charles (01).

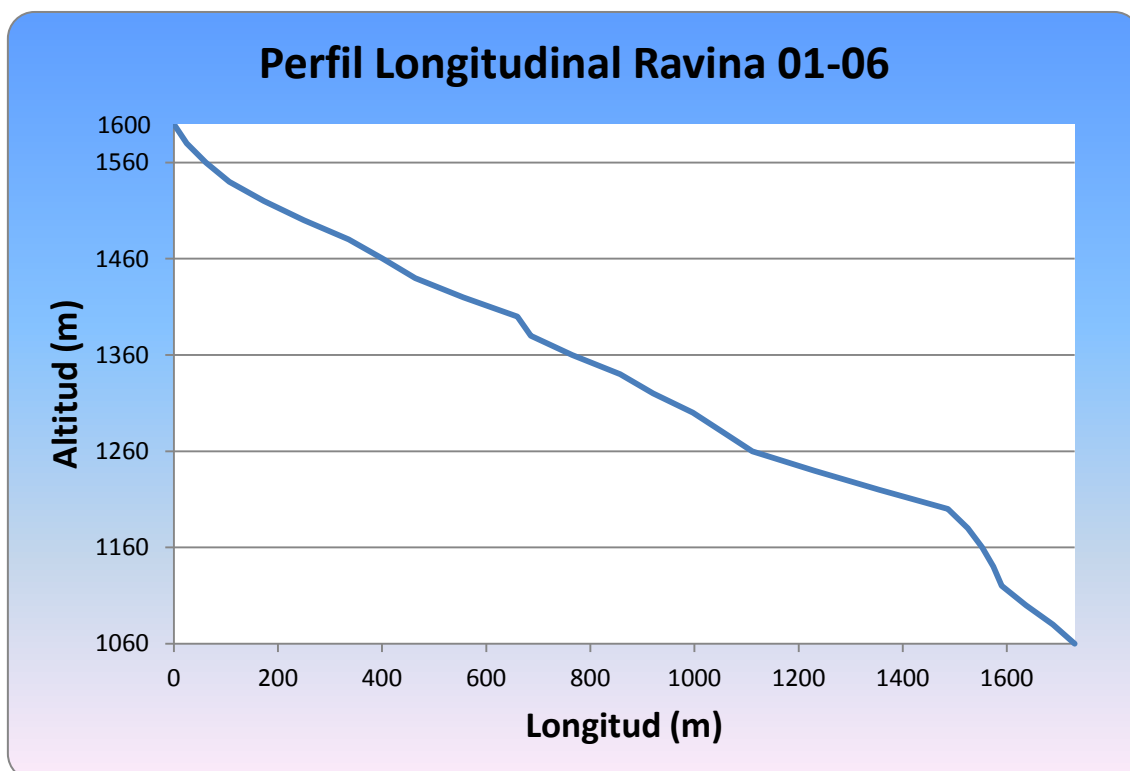


Figura 2.6.: Perfil longitudinal de la Ravina 01-06.

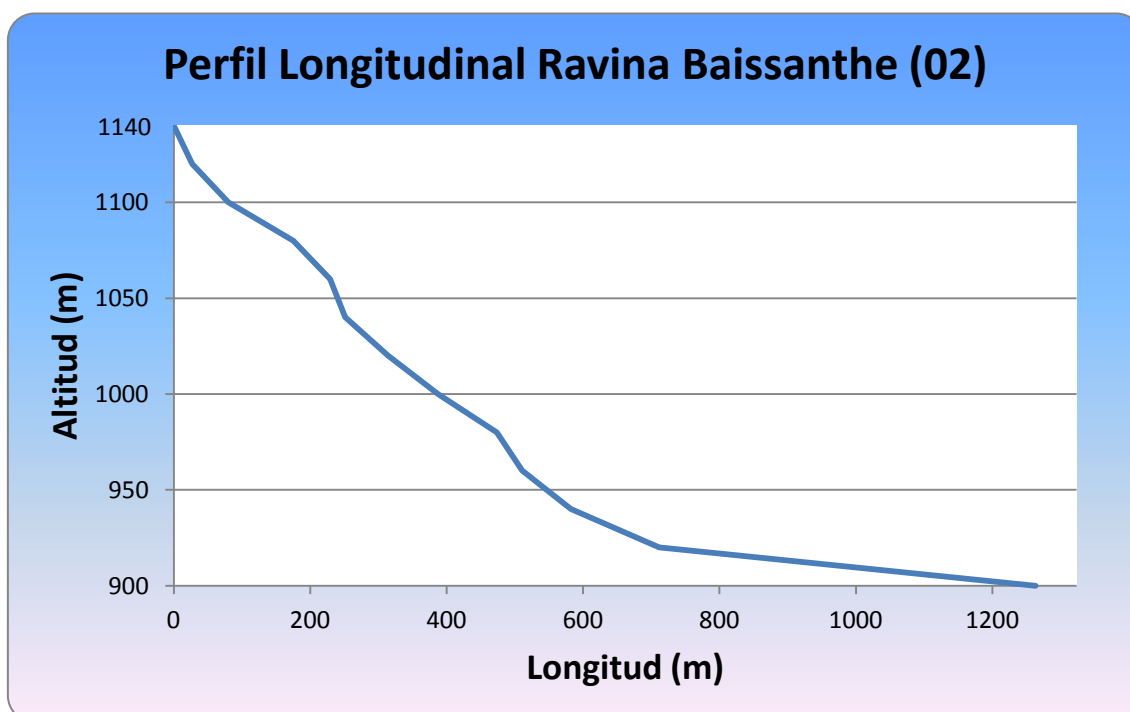


Figura 2.7.: Perfil longitudinal de la Ravina Baissanthe (02).

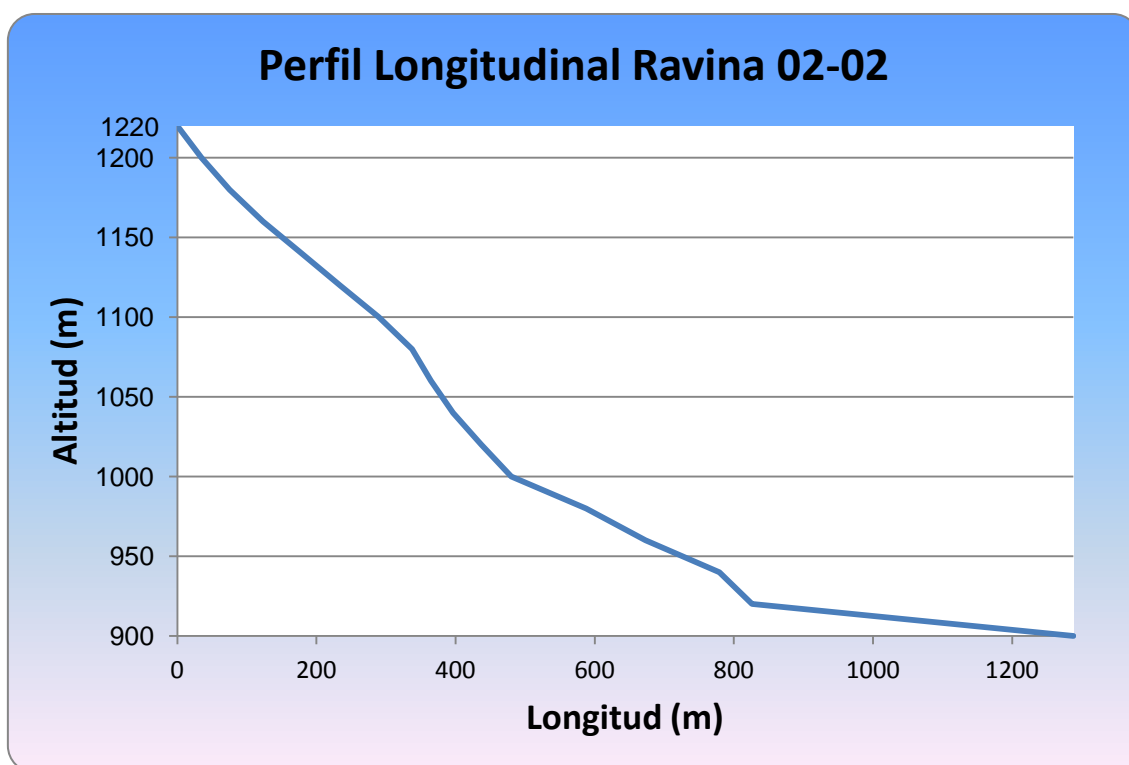


Figura 2.8.: Perfil longitudinal de la Ravina 02-02.

Pendiente media de las ravinadas más importantes

Para obtener la pendiente media de las ravinadas más importantes se utilizarán las fórmulas siguientes.

$$J_{\text{ravina}} = \frac{H_{\text{máx}} - H_{\text{mín}}}{L_{\text{ravina}}} \quad (1)$$

$$J'_{\text{ravina}} = \frac{H_{\text{máx}} - 920}{L'_{\text{ravina}}} \quad (2)$$

La primera tiene en cuenta todo el recorrido de la ravina, desde su nacimiento hasta el punto de cierre de la cuenca, a los 900 m, o su desembocadura en la ravina principal como es el caso de la ravina 01-06 que desemboca a la altitud de 1060 m en la “Ravina Pierre Charles”. Se usa una segunda fórmula, en la que la altitud mínima se fija en 920 m, así se obtiene una pendiente donde no influya la llanura donde se asienta el “Etang Pouillet”.

En las tablas 2.14, se recoge para cada ravina: la altitud máxima (H max), la altitud mínima (H min), el recorrido desde el nacimiento hasta la desembocadura (L ravina), la pendiente (J ravina) calculada según la primera fórmula (01), el recorrido desde el nacimiento hasta la altitud de 920 m (L' ravina) y la pendiente (J' ravina) calculada según la segunda fórmula (2).

Ravina Pierre Charles (01)	
H max (m)	1720
H min (m)	900
L ravina (m)	4076,4
J ravina (%)	20,1
L' ravina (m)	3427,6
J' ravina (%)	23,3

Ravina 01-06	
H max (m)	1600
H min (m)	1060
L ravina (m)	1730,2
J ravina (%)	31,2

Ravina Baissanthe (02)	
H max (m)	1140
H min (m)	900
L ravina (m)	1263,5
J ravina (%)	19,0
L' ravina (m)	711,5
J' ravina (%)	30,9

Ravina 02-02	
H max (m)	1220
H min (m)	900
L ravina (m)	1288,1
J ravina (%)	24,8
L' ravina (m)	826,3
J' ravina (%)	36,3

Tabla 2.14.: Altitudes, longitudes y pendientes de las ravinadas más importantes pertenecientes a la cuenca del Etang Pouillet.

Como se observa, las pendientes medias de los cursos de agua más importantes son bastante elevadas, dando una idea de la velocidad del agua y el carácter torrencial de las mismas, aspecto que se había observado ya con el mapa de pendientes.

A continuación se presentan las figuras 2.9 a 2.12. Son unas gráficas con las pendientes de los cursos de agua, discretizando cada 20 metros, valor fijado por las curvas de nivel.

En el eje de abscisas se representa la pendiente en porcentaje, mientras que en el de ordenadas se representan los intervalos de altitud cada 20 metros, siendo el valor representado el valor medio del mismo, así pues por ejemplo, 1710 m representa al intervalo 1720-1700 m.

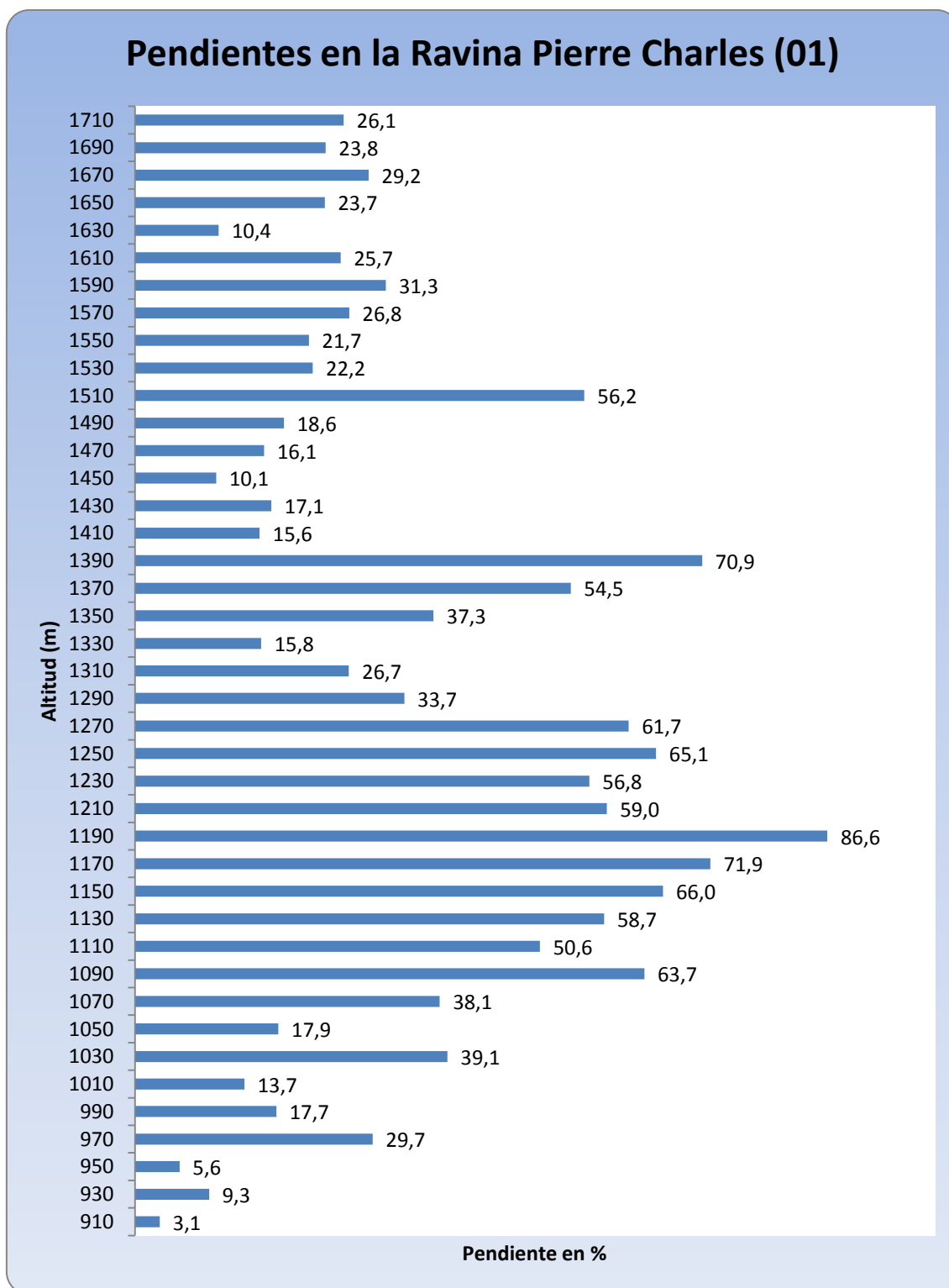


Figura 2.9.: Pendientes desglosadas en la Ravina Pierre Charles (01)

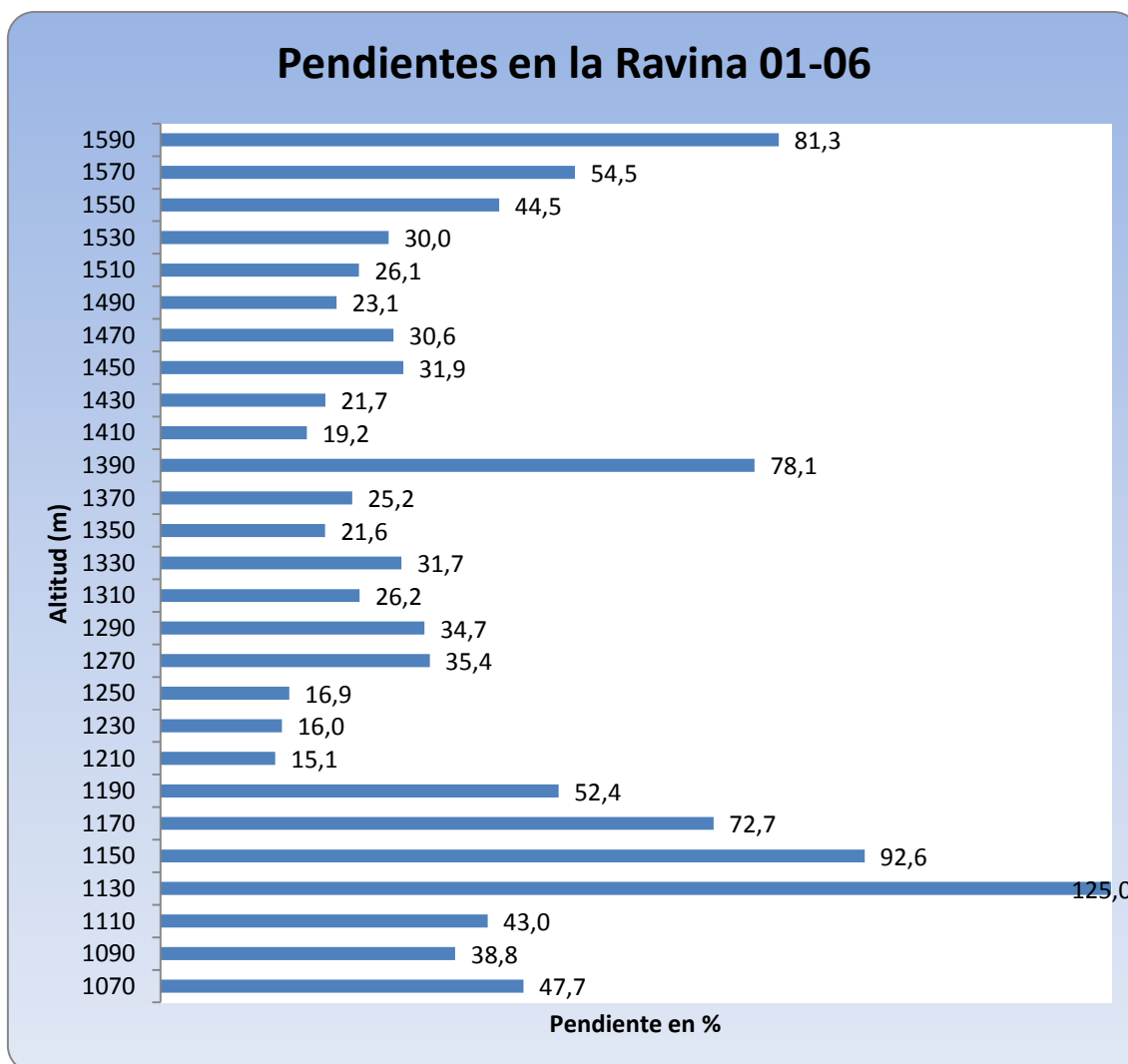


Figura 2.10.: Pendientes desglosadas en la Ravina 01-06

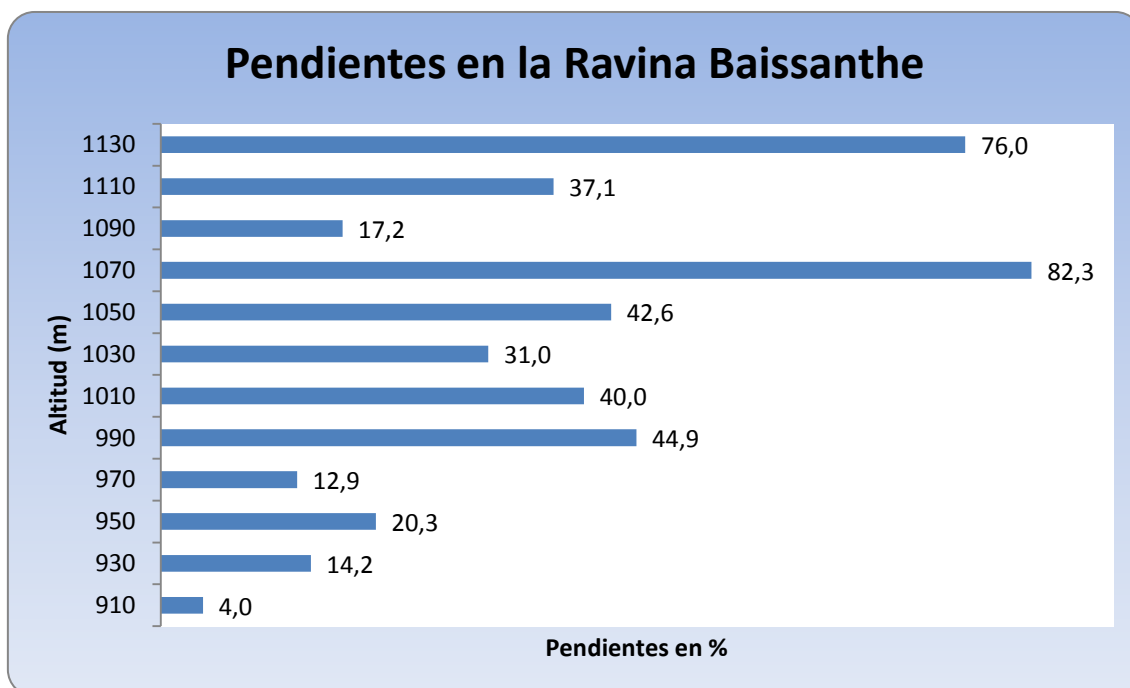


Figura 2.11.: Pendientes desglosadas en la Ravina Baissanthe.

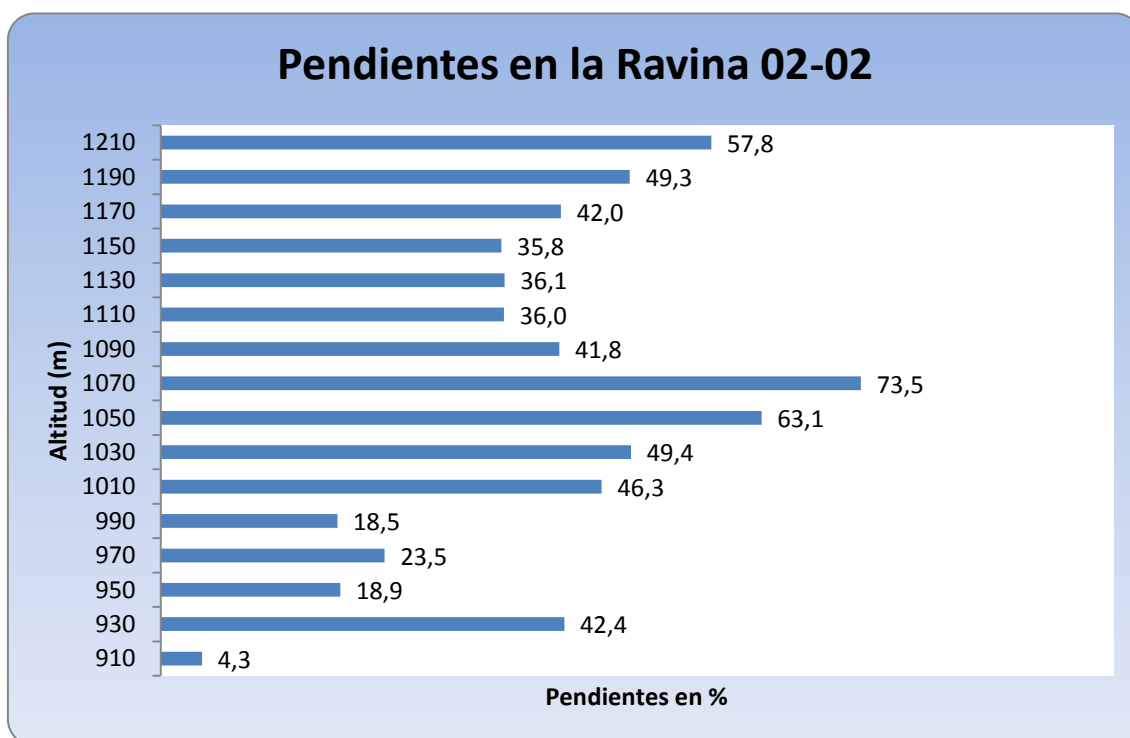


Figura 2.12.: Pendientes desglosadas en la Ravina 02-02.

Se observa en casi todas las gráficas, gran disparidad entre las pendientes de zonas contiguas, lo que da idea una vez más, de lo abrupto del terreno

Tiempo de concentración

Se llama así al tiempo requerido para que, durante un aguacero uniforme, se alcance el estado estacionario, es decir, el tiempo necesario para que toda la cuenca contribuya eficazmente a la generación del flujo en el punto de cierre de la cuenca.

De modo más sencillo, se puede definir como el tiempo que tarda en llegar hasta la sección de salida de una cuenca una gota caída en el extremo hidráulicamente más alejado de la misma. La determinación de este extremo, si no se define con precisión, puede inducir una carga importante de subjetividad en este índice.

Se utilizarán 2 expresiones que suelen dar valores dispares para poder trabajar con un rango de datos a la hora de hacer los cálculos oportunos.

✓ Fórmula de Kirpich

Esta fórmula, propuesta por Kirpich en 1940, se trata de la más clásica y la utilizada en el método racional de cálculo de caudales. Obtenida en cuencas de pequeño tamaño. De gran utilización en Haití.

$$t_c = \left(\frac{0,871 \cdot L^3}{\Delta H} \right)^{0,385}$$

Donde:

L, es la longitud del cauce más largo de la cuenca, en km.

ΔH , es la diferencia de cotas entre el punto hidrológicamente más alejado de la cuenca y la sección de salida, en m.

Para la cuenca del Etang Pouillet:

$$L = 4,08 \text{ km}$$

$$\Delta H = 1720 - 900 = 820 \text{ m}$$

$$t_c = 0,36 \text{ horas} \approx 22 \text{ min}$$

✓ **Fórmula de Giandotti**

Este hidrólogo italiano propuso la siguiente fórmula:

$$t_c = \frac{4 \cdot \sqrt{A} + 1,5 \cdot L}{25,3 \cdot \sqrt{L \cdot S_o}}$$

Donde:

A, es el área de la cuenca, en km²

L, es la longitud del cauce más largo de la cuenca, en km

So, es la pendiente media de este cauce, en m/m

Para la cuenca del Etang Pouillet:

$$A = 3,151 \text{ km}^2$$

$$L = 4,08 \text{ km}$$

$$S_o = 0,2012$$

$$t_c = 0,58 \text{ horas} \approx 35 \text{ min}$$

En la tabla 2.15. se recoge la comparación entre los valores de los tiempos de concentración calculados según las fórmulas de Kirpich y Giandotti.

	Kirpich	Giandotti
t _c (h)	0,36	0,58

Tabla 2.15.: Comparación de los tiempos de concentración según las fórmulas de Kirpich y Giandotti.

Con estos valores, se puede hacer una aproximación a la velocidad del flujo, que servirá para hacerse una idea de la torrencialidad de la cuenca.

En la tabla 2.16 se recoge la comparación entre los valores de las velocidades de flujo calculadas a partir de los tiempos de concentración obtenidos por las fórmulas de Kirpich y Giandotti.

	t_c (h)	0,36	0,58
velocidad de flujo	m/s	3,15	1,95
	km/h	11,32	7,03

Tabla 2.16.: Comparación de la velocidad de flujo dependiendo del tiempo de concentración.

Los resultados como ya se predijo son dispares, lo que servirá para dar un rango de valores en la estimación de caudales.

2.2.2.3. *Parámetros de la red de drenaje*

Comenzaremos dando una definición de red de drenaje y un pequeño apunte sobre el porqué se calculan los parámetros asociados a ésta.

Red de drenaje

Sistema formado por el conjunto de los cursos por los que circula el agua de escorrentía superficial (permanentes o no).

La determinación de estos parámetros sirve para hacer una primera aproximación al comportamiento hidrológico de la cuenca, ya que cuanto más desarrollada esté la red de drenaje, más rápidamente canalizará la escorrentía, mayor será el “pico” de la avenida y menor el tiempo de concentración.

Orden de los cursos

Propuesto por el hidrólogo estadounidense Robert E. Horton, no es más que una descripción jerárquica dentro de una cuenca. Clasifica dichos cursos de la siguiente forma:

Orden 1: aquellos en los que el agua se concentra por primera vez en la cuenca.

Orden 2: cuando se unen dos cursos de primer orden.

Orden 3: cuando se unen dos de orden dos y dan lugar a uno de tercer orden. Y así sucesivamente.

A continuación se muestra una figura con la clasificación aplicada a la cuenca de estudio. Si bien la “Ravina Baissanthe” es tributaria de la “Ravina Pierre Charles”, para la representación no se ha considerado así, ya que el aporte de aguas de la primera sobre la segunda, según indica la cartografía, no se hace efectivo pues ambas forman parte del “Etang Pouillet”. Para la “Ravina Baissanthe” se ha considerado oportuno nombrar los cauces seguidos de la notación de prima (').

El número de curso de orden “u” será siempre mayor que los de orden “u+1”.

$$N(u) > N(u+1)$$

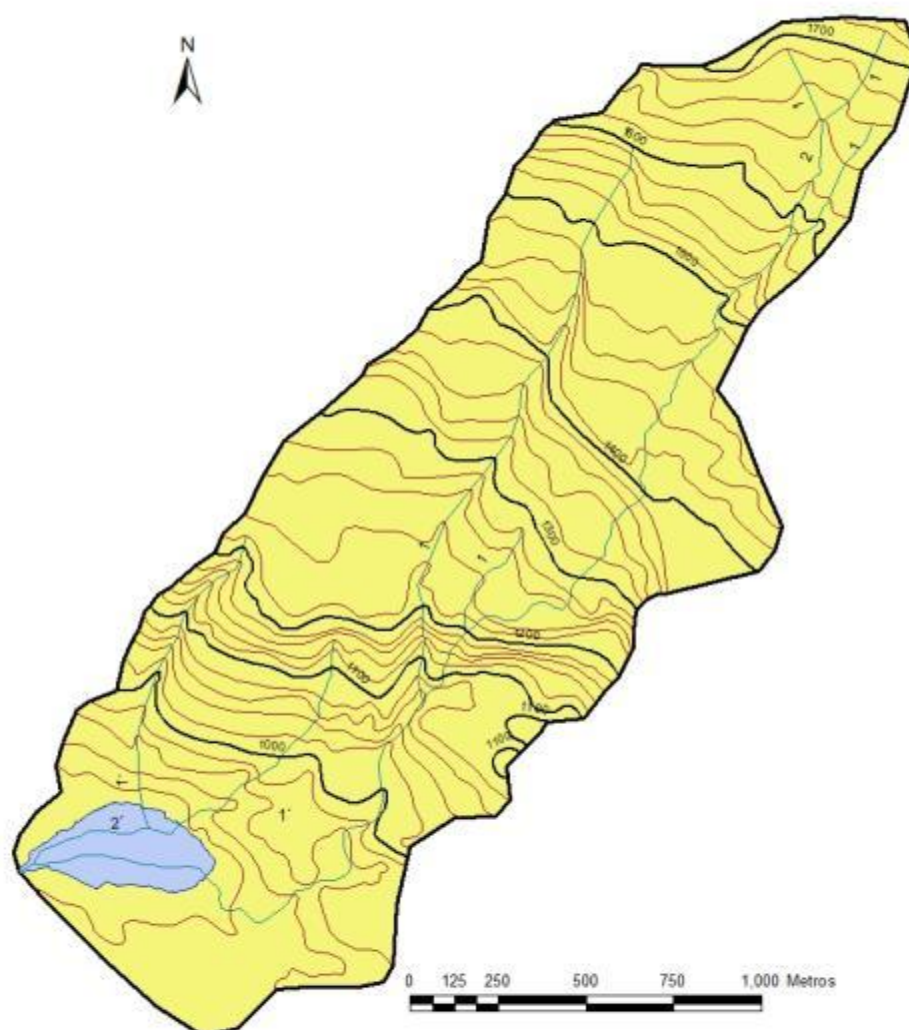


Figura 2.13.: Mapa de orden de los cursos según Horton para la cuenca del “Etang Pouillet”. *Fuente: Elaboración propia.*

Coeficiente de bifurcación

Utilizando la clasificación anterior, se puede establecer el coeficiente de bifurcación. Si éste presenta valores bajos, los hidrogramas tendrán picos muy marcados, por el contrario, si presenta valores altos, los hidrogramas tendrán picos más suaves.

Se representa por la ecuación siguiente:

$$R_b = \frac{N(u)}{N(u + 1)}$$

Para la “Ravina Pierre Charles”:

- N (1): 5
- N (2): 1
- **Rb = 5**

Para la “Ravina Baissanthe”:

- N (1): 2
- N (2): 1
- **Rb = 2**

Así pues, es de esperar que la “Ravina Pierre Charles” genere hidrogramas más suaves que la “Ravina Baissanthe”.

Densidad de drenaje

Este parámetro, nos da un valor medio de la longitud de cauce por unidad de superficie de la cuenca. Se expresa en km/km² y responde a la siguiente fórmula:

$$D = \frac{\sum L}{A}$$

Donde:

L, es la longitud de los cursos en km.

A, es la superficie de la cuenca en km².

Para la cuenca del “Etang Pouillet”:

$$\sum L = 8,419 \text{ km}$$

$$A = 3,151 \text{ km}^2$$

$$**D = 2,67 km/km}^2**$$

Superficie de alimentación

Representa el número de m² necesarios para alimentar un metro de cauce o superficie mínima necesaria para que pueda producirse la concentración de escorrentías necesarias para que se forme un cauce.

Se representa por la ecuación siguiente:

$$C = \frac{A}{\sum L} = \frac{1}{D}$$

Donde:

L, es la longitud de los cursos en km.

A, es la superficie de la cuenca en km².

Para la cuenca del “Etang Pouillet”:

$$D = 2,67 \text{ km/km}^2$$

$$C = 0,37 \text{ km}^2/\text{km} \rightarrow 370 \text{ m}^2 \text{ de cuenca para cada metro de cauce.}$$

Longitud media de flujo en ladera

Mide aquella escorrentía que discurre por la ladera sin ser encauzada, se representa mediante la ecuación.

$$L_0 = \frac{1}{2D}$$

Donde:

D, es la densidad de drenaje en km/km²

Para la cuenca del “Etang Pouillet”:

$$D = 2,67 \text{ km/km}^2$$

$$L_0 = 0,187 \text{ km} = 187 \text{ m}$$

2.2.3. Geología y suelos

2.2.3.1. Geología

Según lo expuesto en la Nota Explicativa del Mapa Geológico de Haití a 1/250000 (DGM (2005)), realizada por el Servicio de Geología de la Dirección de Geología y Minas (DGM), perteneciente a la Oficina de Minas y Energía (BME). *“La Península Sur es un conjunto morfoestructural de dirección general Este-Oeste. Constituido por una sucesión de pliegues anticlinales orientados desde el norte del Macizo de la Hotte, al Oeste, hasta el Macizo de la Selle al Este. Estos dos macizos son intersectados por una estructura mayor que va de Tiburon a Pétion-Ville.”*

Según MacFadden, B. (1986), la geología en la cuenca del “Etang Pouillet” se enmarca dentro de la geología propia de la vertiente sur del Macizo de “La Selle” dominada por la formación Neiba que está constituida por calizas del Eoceno medio y superior.

Más concretamente, el mapa geológico de Haití, indica dos tipos de rocas aunque ambas de origen sedimentario. La parte superior de la cuenca estaría constituida por una unidad de calizas masivas seguidas de calizas en placas, formadas en el Eoceno superior y medio. Mientras que la parte inferior estaría constituida por una unidad de calizas blancas cristalinas, bien macizas o bien estratificadas en bancos decimétricos con presencia frecuente de sílex, formadas en el Eoceno medio, Eoceno inferior y Paleoceno superior.

Por tanto, se distinguen dos litologías aunque ambas de origen sedimentario: una unidad de calizas duras y otra unidad de margas y calizas margosas.

Los contenidos en arcillas de las margas y calizas margosas, hacen suponer que los suelos de la cuenca son impermeables y con elevada capacidad de compactación.

La división espacial de las dos litologías se hace como muestra la figura 2.14 que se muestra a continuación:

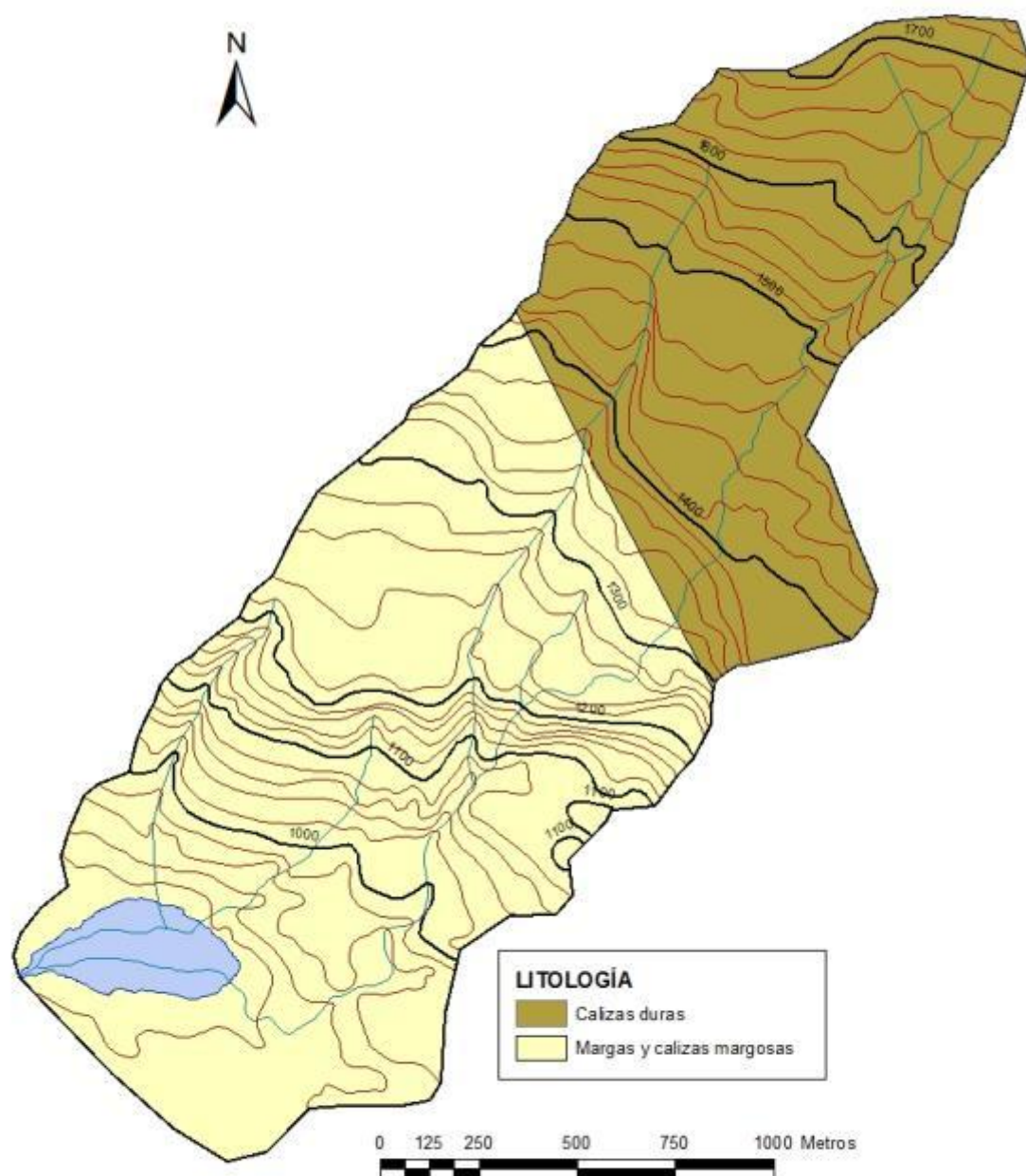


Figura 2.14.: Mapa de litología para la cuenca del "Etang Pouillet". *Fuente: Elaboración propia.*

2.2.3.2. Suelos

Este capítulo presenta una explicación de los tipos de suelos que se han diferenciado a la hora de presentar los escenarios para poder clasificar los suelos dentro de los distintos grupos hidrológicos. La información de este capítulo se encuentra ampliada y completada en el Anexo IV.

Para realizar el muestreo de suelos en la cuenca del “Etang Pouillet” se ha considerado la litología, pendiente y vegetación, factores importantes en el proceso de evolución de los suelos. En la cuenca de estudio se diferencian dos litologías, una de Calizas duras y otra de Margas y Calizas Margosas. Para discriminar la pendiente se ha usado el 30% que es el límite cultivable de referencia propuesto por la FAO. En cuanto a vegetación se distinguen dos tipos de coberturas vegetales, los cultivos perennes y los cultivos anuales. Debido a su escasa representatividad los bosquetes de *Pinus occidentalis* se han incluido en las zonas de cultivos perennes. De la combinación de la litología, la pendiente y la vegetación se distinguen los ocho escenarios propuestos a continuación.

- Litología de Calizas duras:
 - Zonas de fuerte pendiente (>30%)
 1. Cultivos perennes
 2. Cultivos anuales
 - Zonas de pendiente menor (\leq 30%)
 3. Cultivos perennes
 4. Cultivos anuales
- Litología de Margas y Calizas Margosas :
 - Zonas de fuerte pendiente (>30%)
 5. Cultivos perennes
 6. Cultivos anuales
 - Zonas de pendiente menor (\leq 30%)
 7. Cultivos perennes
 8. Cultivos anuales

Para localizar la situación de la toma de muestras de los suelos, se superpusieron los mapas temáticos de litología, pendiente y vegetación y se seleccionaron ocho puntos con las características de los ocho escenarios descritos anteriormente. Mediante ArcGIS 9.3.1 se obtuvieron sus coordenadas para poder ser localizados con ayuda de un receptor GPS en el campo. Se recogieron muestras de los veinte primeros centímetros de suelo confirmando sobre el terreno que las características del mismo correspondían a las previstas según la superposición de los mapas.

La figura 2.16 representa los distintos escenarios para la toma de muestras de suelos.

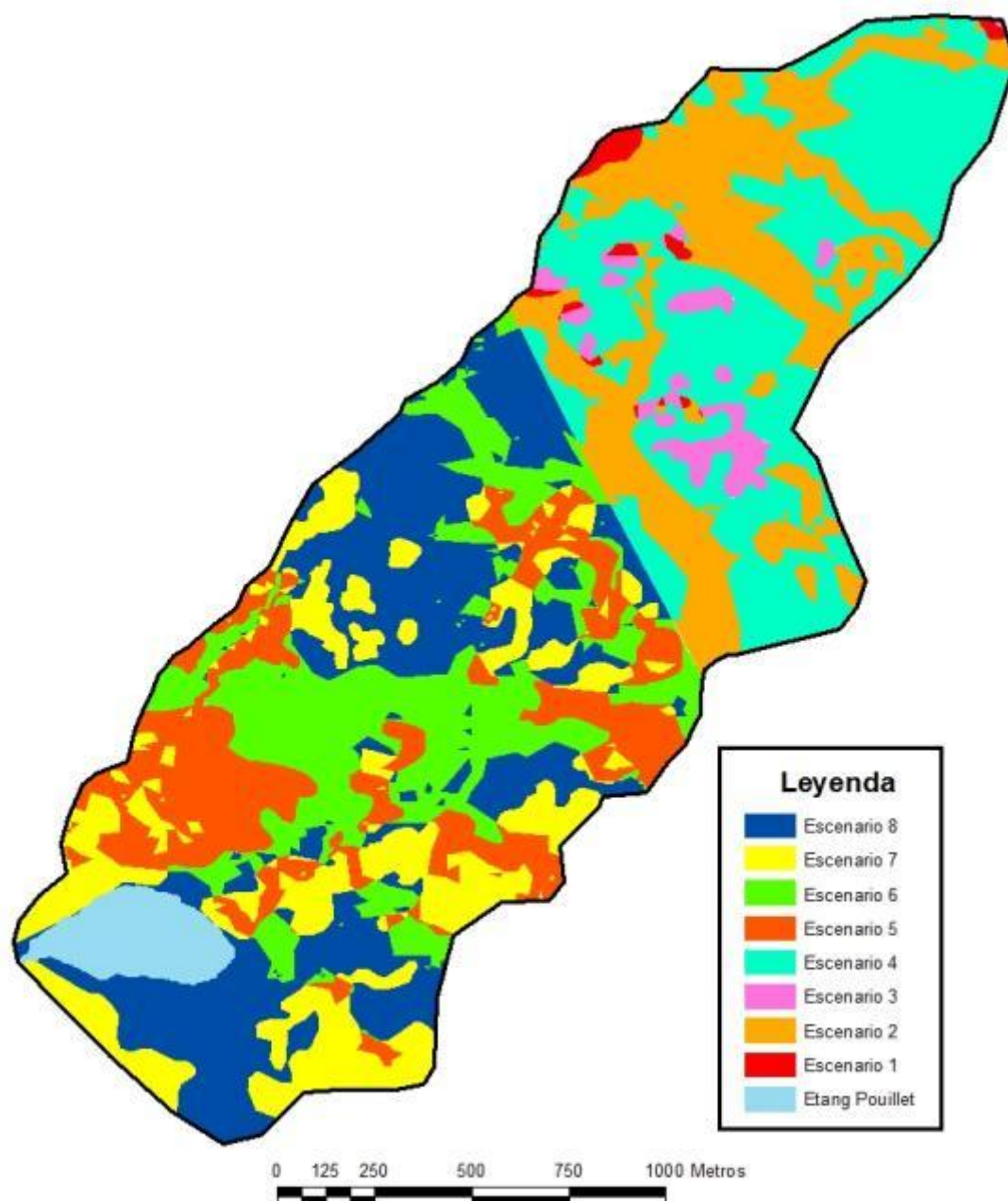


Figura 2.15.: Mapa de escenarios para el cálculo del Número de Curva en la cuenca del "Etang Pouillet"

Las muestras se enviaron al laboratorio de análisis de suelos de la Facultad de Agronomía y Medicina Veterinaria de la Universidad del Estado de Haití en Puerto Príncipe para su análisis granulométrico y de contenido en materia orgánica. Los resultados obtenidos se recogen en las tablas 2.17 y 2.18.

Escenario	% Materia Orgánica	Clasificación
1	6,72	Bien provisto (humífero)
2	6,38	Bien provisto (humífero)
3	11,29	Algo excesivo (fuertemente humífero)
4	10,21	Algo excesivo (fuertemente humífero)
5	4,7	Algo deficiente (moderadamente humífero)
6	5,04	Bien provisto (humífero)
7	10,42	Algo excesivo (fuertemente humífero)
8	10,75	Algo excesivo (fuertemente humífero)

Tabla 2.17.: Análisis de materia orgánica de los distintos escenarios de la cuenca del “Etang Pouillet”

En la tabla 2.17. se recogen los resultados de los análisis de materia orgánica y su clasificación responde a la propuesta por Gandullo (1985) recogida en Gomez Sanz V. (2005).

Escenario	Granulometría USDA (mm)			Clasificación
	% Arcilla < 0,002	% Limo 0,002 - 0,05	% Arena 0,05 - 2	
1	5	40	55	Franco Arenoso
2	5	30	65	Franco Arenoso
3	15	25	60	Franco Arenoso
4	20	25	55	Franco Arcilloso Arenoso
5	10	20	70	Franco Arenoso
6	15	20	65	Franco Arenoso
7	10	25	65	Franco Arenoso
8	20	25	55	Franco Arcilloso Arenoso

Tabla 2.18.: Análisis textural de los distintos escenarios de la cuenca del “Etang Pouillet”

En la tabla 2.18. se recogen los resultados del análisis granulométrico, distinguiendo entre los porcentajes de arcilla, limo y arena, según los intervalos de granulometría fijados por USDA. La clasificación textural de los suelos se realiza mediante la interpretación de los resultados en el diagrama triangular propuesto por el USDA (ver Anexo I.4).

A cada escenario le corresponde un número de curva, calculado a partir del análisis de suelos mediante el programa de la Universidad de Valladolid *NumCur* (ver Anexo I.4).

2.2.3.3. Clases agrológicas

Este método fue desarrollado por el *Soil Conservation Service* (SCS) de USA, según el sistema propuesto por Klingebiel, A.A. y Montgomery, P.H. (1961)

Tanto la metodología y criterios generales como los empleados en este caso particular, se describen en el Anexo V.

A continuación se presenta una tabla con las Clases Agrológicas asignadas a cada escenario.

Escenario	Clase Agrológica	Subclase Agrológica	Área (ha)	Area (%)
1	VII	es	2,29	0,73
2	VII	es	46,49	14,75
3	VI	es	6,60	2,09
4	VI	es	62,37	19,79
5	VII	es	39,33	12,48
6	VII	es	43,99	13,96
7	VI	es	42,52	13,49
8	VI	es	62,61	19,87
Lago	V	w	8,90	2,82
			315,10	100,00

Tabla 2.19.: Clases Agrológicas para cada escenario de la Cuenca del Etang Pouillet.

Debido a que los distintos escenarios se clasifican en las clases: V, VI, VII, se propone que se destinen a pastos o bosques, no siendo recomendable su uso agrícola por presentar muy severas limitaciones y/o requerir un cuidadoso manejo.

Se verán a continuación los usos concretos propuestos por este sistema para las clases que se presentan, dejando la descripción de todas las clases como objeto del Anexo V.

Clase V. Los suelos de esta clase deben mantener una vegetación permanente. Pueden dedicarse a pastos o a bosques. La tierra es casi horizontal. Tienen escasa o ninguna erosión. Sin embargo, no permiten el cultivo, por su carácter encharcado, pedregoso, o por otras causas. El pastoreo debe ser regulado para evitar la destrucción de la cubierta vegetal.

Clase VI. Los suelos de esta clase deben emplearse para el pastoreo o la silvicultura y su uso entraña riesgos moderados. Se hallan sujetos a limitaciones permanentes, pero moderadas, y no son adecuados para el cultivo.

Su pendiente es fuerte, o son muy someros. No se debe permitir que el pastoreo destruya su cubierta vegetal. La tierra de la clase VI es capaz de producir forraje o madera cuando se administra correctamente. Si se destruye la cubierta vegetal, el uso del suelo debe restringirse hasta que dicha cubierta se regenere.

Clase VII. Los suelos de esta clase se hallan sujetos a limitaciones permanentes y severas cuando se emplean para pastos o silvicultura. Son suelos situados en pendientes fuertes, erosionados, accidentados, someros, áridos o inundados. Su valor para soportar algún aprovechamiento es mediano o pobre y deben manejarse con cuidado. En zonas de pluviosidad fuerte estos suelos deben usarse para sostener bosques. En otras áreas, se pueden usar para pastoreo; en este último caso debe extremarse el rigor y el cuidado en su manejo.

Para las subclases que nos ocupan, la descripción de las limitaciones, según definieron Klingebiel y Montgomery, es la siguiente:

- e, para riesgos de erosión
- s, para limitaciones del suelo que afectan al desarrollo radicular
- w, para problemas de hidromorfía

Aunque por dicha clasificación no se recomienda la agricultura, debido a los usos y aprovechamientos tradicionales y a la demanda social de alimentos, hay que hacer posible la agricultura mediante la implantación de sistemas agroforestales y extremando las prácticas de conservación de suelos.

En ciertas áreas se mantiene una cubierta arbórea permanente, necesaria para el cultivo del café. Este uso del suelo se considera adaptado a las condiciones del suelo y la topografía y no entra en conflicto con otras funciones del suelo, como la producción de agua, si se manejan de manera adecuada.

2.2.3.4. Erosión hídrica

La elevada presión antrópica, materializada con la práctica del pastoreo, y de la agricultura sin ninguna práctica de conservación de suelos, unida a las fuertes pendientes de la cuenca (media del 33%), hace que la erosión hídrica sea calificada de muy alta. Muchas veces el pastoreo y la recolección de leñas para uso diario, se hace en los taludes de los cursos de agua, fomentando así el fenómeno de abarrancamiento que se intensifica por el cultivo en las mismas riveras aún estando prohibido por la legislación vigente.



Foto 2.1.: El autor tomando la posición mediante receptor GPS de una zona erosionada. Nótese el cultivo adyacente. *Fuente: Elaboración propia.*

2.3. Vegetación

Según el diagnóstico de PNUD (2009) para el Proyecto Pedernales, situado en el mismo Departamento, siguiendo la clasificación de zonas de vida de Holdridge, las formaciones vegetales características de la zona de estudio, son las que se muestran a continuación.

Denominación	Rango Altitudinal (m)	Pluviometría
Montaña Pluvial	400 - 1000	± 1700 mm
Montaña Húmeda	1000 - 2000	± 2000 mm

Tabla 2.20.: Zonas de vida de Holdridge presentes en la cuenca del Etang Pouillet.

Teniendo en cuenta que la cuenca del “Etang Pouillet” tiene un rango altitudinal de 900 a 1720 m.s.n.m., casi toda ella se encontraría en la clasificación de Montaña Húmeda, donde la vegetación clímax son los bosques de *Pinus occidentalis* acompañados de especies de: orquídeas enanas, helechos gigantes, geranios y bromelias epífitas.



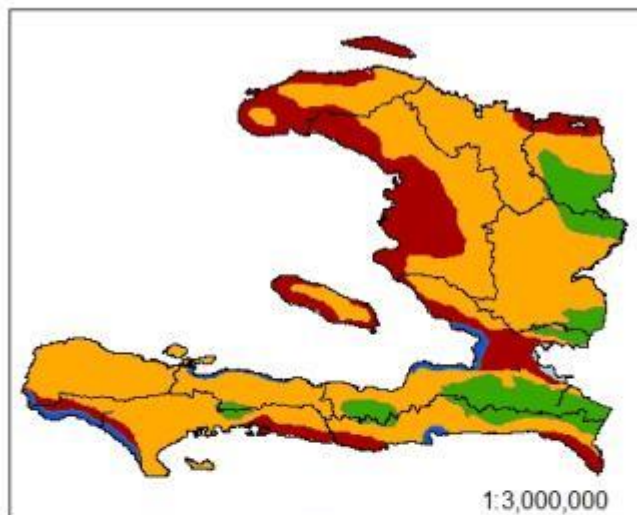
Foto 2.2.: Bromelia epífita sobre *Pinus occidentalis* en la cabecera de la cuenca. Fuente: Elaboración propia.

La realidad es bien distinta, los pinos han sido sustituidos en las zonas de mayor pendiente, por cultivos anuales de: patata, zanahoria, puerro, maíz, guisantes, alcachofas... Para la zona más baja, y algo más llana, circundando al "Etang Pouillet", se prefiere el cultivo de café (*Coffea arabica*), a la sombra de ciertos árboles, algunos frutales como: la guaba (*Inga vera*), los cítricos, el pomelo (*Citrus grandis*) y el naranjo (*Citrus sinensis*), los bananos (*Musa paradisiaca*), los aguacates (*Persea sp.*) y el jarumo (*Cercopia peltata*).

Sólo sobre los 1700 m.s.n.m. en el extremo norte de la cuenca, queda un reducto de unos 2600 m² de pinar acompañado de frondosas (rak bwa).

Para confirmar que la vegetación clímax de la cuenca se compondría de una comunidad vegetal asociada al pinar de *Pinus occidentalis* se representa a continuación la distribución de ecosistemas según la organización WWF. Se disponen de 3 figuras, en la figura superior izquierda, se observan los ecosistemas de todo Haití. En la figura inferior izquierda, se representa los ecosistemas del Departamento del Sudeste. En la figura superior derecha, se hace un detalle de la Comuna de Marigot, con la representación de la cuenca del Etang Pouillet. Como se recoge en la leyenda, toda ella se encontraría dentro del ecosistema "Hispaniolan pine forest" (bosque de pino de La Española). Este ecosistema está presente en zonas montañosas de Haití y de República Dominicana, ambos países integran la isla de La Española.

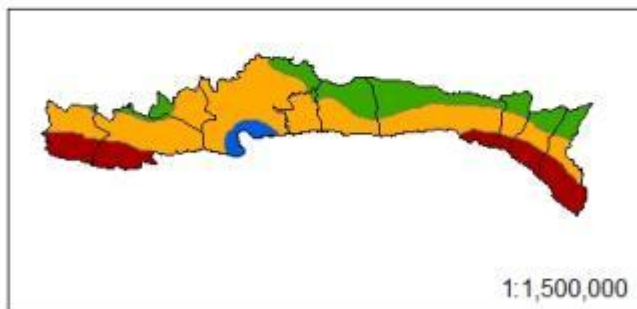
Distribución de ecosistemas según WWF



Ecosistemas presentes en Haití



Ecosistemas presentes en la Comuna de Marigot y en la cuenca de estudio



Ecosistemas presentes en el Departamento del Sudeste



2.4. Fauna

Según se reconoce en PNUD (2009) *“la fauna a nivel nacional está poco estudiada... La existencia de movimientos migratorios de las especies silvestres, constituye un campo de estudio sin explorar.”*

Teniendo en cuenta esto y que los anteriores inventarios de fauna fueron hechos por miembros de la Universidad de Florida en 1986. El presente apartado se ha redactado de acuerdo con el inventario que SEO/Birdlife (2008) hizo para el Parque Nacional de La Visite, en noviembre-diciembre de 2008. Se ha tenido especial cuidado en nombrar sólo las especies que ellos constataron directamente, eliminándose aquellas en las que su rango altitudinal no coincide con el de la cuenca del Etang Pouillet, sobre todo en el caso de anfibios y reptiles.

Los listados de especies se adjuntan en el Anexo I.6.

La fauna presente en la cuenca del Etang Pouillet, es interesante desde el punto de vista de protección de biodiversidad, no tanto por el número de especies sino por el porcentaje de endemismos que presenta. Así pues podemos encontrar: 9 especies de **anfibios**, de las cuales el 100% es endémica de la Isla de La Española y algunas especies son endémicas del sur de Haití y más concretamente del Macizo de La Selle, donde se asienta la cuenca. Mucho más reducidas son las especies de **reptiles**, presentando 2 especies, ambas endémicas. Los **mamíferos** suman 8 especies, ninguna endémica, de las cuales 3 son introducidas y se encuentran asilvestradas, destacan con 3 especies los quirópteros, hoy en día todos ellos insectívoros, aunque en un pasado reciente había otras especies frugívoras que han desaparecido debido a la destrucción del hábitat. Para finalizar, el grupo más amplio lo componen las **aves**, con 47 especies, 16 (34%) de ellas, endémicas. La cuenca del Etang Pouillet constituye un espacio de referencia en la migración de la avifauna ya que 11 especies son consideradas como invernantes.

Como muestra la siguiente tabla, un 41% de las especies presentes en la cuenca del Etang Pouillet son endémicas.

	Nº Especies	Endémicas
Anfibios	9	9 (100%)
Reptiles	2	2 (100%)
Mamíferos	8	0 (0%)
Aves	47	16 (34%)
Total	66	27 (41%)

Tabla 2.21.: Número de especies animales y endemismos.

2.5. Estudio socioeconómico

Para la realización de este capítulo se pidió información al “*Institut Haitien de Statistique et d’Informatique*” (IHSI), el cual no facilitó información alguna. También se acudió al ayuntamiento de Marigot en el cual no existen documentos oficiales sobre población ni actividades económicas a escala de habitación. Por ello, la sucinta información que se expone a continuación fue recogida directamente en campo a través de la entrevista al señor Victor Mérione.

Como ya se mencionó anteriormente, dentro de la cuenca del “Etang Pouillet” se encuentran cuatro núcleos poblacionales que se agrupan en tres habitaciones: Chauta al norte, Bourgeois al Oeste y Goyave al sur.

Población	Nº habitantes
Chauta	4500
Bourgeois	3500
Goyave	5000
Total	13000

Tabla 2.22.: Número de habitantes por habitación.

Esto indica que la densidad poblacional es muy alta, aproximadamente 4125 personas por kilómetro cuadrado, la presión antrópica sobre el territorio es muy fuerte por lo que se explica que la cuenca esté casi totalmente deforestada, ya que la necesidad de tierra para cultivar hace que se practique la agricultura en pendientes muy fuertes, incluso por encima del 45%.

Dentro de la cuenca la economía está basada prácticamente al 100% en el sector primario, no existe industria alguna ni servicios.

Las actividades económicas están basadas en la agricultura y en la ganadería, aunque esta última en mucha menor medida. Los productos se comercializan en el mercado de Seguin, en Jacmel, la capital del Departamento del Sudeste, y en Puerto Príncipe.

Es de destacar que no existe escuela ni hospital en la cuenca. Los niños que van a la escuela lo hacen andando una media de una hora hasta la Escuela Presbiteral de Nan Marie, que no tiene más que la enseñanza primaria. El hospital de referencia es el de la misión médica cubana y se sitúa en Cayes Jacmel a unas 3 horas por una pista en muy mal estado, solo practicable por vehículos 4X4 y motocicletas.

La energía para cocinar se obtiene de la leña y el carbón sin gestión alguna, lo que provoca una gran deforestación. Mención aparte merece la técnica del “bois gras” que consiste en sacar teas de los pinos. De aquí se

deduce la necesidad de hacer plantaciones de especies leñosas con fines energéticos.

A parte del Ministerio de Medio Ambiente, mediante el proyecto Araucaria XXI/Haití y el Ministerio de Agricultura mediante el proyecto de Acuicultura ambos financiados por la AECID, en la cuenca trabajan otras instituciones y organizaciones internacionales que son las siguientes:

- FAO: Con programas de agricultura, especialmente de proyecto agroforestales.
- SUCO: Realiza proyectos de manejo de cuencas.
- Save The children: trabaja en la protección de la infancia.
- Cruz Roja Haitiana: tiene un programa de construcción de viviendas y trabaja en temas de sanidad y saneamiento.

Las Organizaciones Comunitarias de Base (OCB) que trabajan en la zona son las que se recogen a continuación en la tabla 2.22. Son actores muy importantes en el terreno ya que serán ellos la contraparte local de los proyectos y los que normalmente se encarguen de su ejecución, sin perjuicio de los controles y asesoramiento técnico que pueda efectuar el financiador:

OCB	Responsable	Contacto
APKM	Arold JOSEPH	(509)3812-5061
KAPAB	Bernadet ADRISE	(509)3784-5631
APKB	Wilbert ESTACHE	(509)3415-4317
OJEDEM	Daly DUCLOS	(509)3703-5853
DKL	Alourde VEILLARD	(509)3623-5815
IPM	Michel PIERRE	(509)3702-7131
MODETMA	Lusso JEAN	(509)3608-9807
MOPAMA	Jean Ernest LUNDY	(509)3789-1886

Tabla 2.23.: Relación de Organizaciones Comunitarias de Base y contacto de su responsable.



Foto 2.3.: “Bois gras” en la cabecera de la cuenca. *Fuente: Elaboración propia.*



Foto 2.4.: Mujeres marchan a pie 6h para comercializar sus productos en Puerto Príncipe. *Fuente: Elaboración propia.*

3. HIDROLOGÍA

En este capítulo se hace una estimación de los caudales líquidos y de las tasas potenciales de erosión con dos objetivos principales. En el primer caso, conocer el comportamiento hidrológico de la cuenca y tener un orden de magnitud de los caudales de diseño para las distintas infraestructuras que se pudiesen acometer. Y en el segundo caso, detectar aquellas zonas donde la intervención, desde el punto de vista de conservación de suelos, sería prioritaria, así como valorar los sistemas agrícolas o agroforestales tradicionales en el área que menos tasas de erosión producen e intentar acomodarlos al resto de la cuenca.

Para el cálculo de caudales líquidos se va a utilizar la mayor precipitación observada en la estación de Seguin, próxima a la cuenca, ya que en el interior de la misma no existe ninguna. Esta se produjo en septiembre de 1966 según los datos disponibles.

3.1. Caudales líquidos

Para el cálculo de caudales líquidos se va a usar el programa informático HEC-HMS 3.5 con dos modelos meteorológicos distintos, lo que provocará valores de caudal punta y volumen de escorrentía distintos, y también se utilizará la fórmula proporcionada por *International Association of Hydrological Sciences* (IAHS, 2003) para un período de retorno de 200 años, recogida en Lumbroso, D.M. et al (2011).


3.1.1. HEC-HMS 3.5

El programa HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center's – Hydrologic Modeling System), desarrollado por el U.S. Army Corps de los Estados Unidos, es un programa informático de simulación hidrológica tipo evento, lineal y semidistribuido, desarrollado para estimar los hidrogramas de salida en una cuenca o varias subcuencas (caudales máximos y sus tiempos respectivos) a partir de condiciones extremas de lluvias. Aplicando para ello algunos de los métodos de cálculo de hietogramas de diseño, pérdidas por infiltración, flujo base y conversión de lluvia en escorrentía directa, que han alcanzado gran popularidad en los proyectos de hidrología.

Debido a que la cuenca es pequeña y que la cartografía disponible no es lo suficientemente detallada como para distinguir las subcuencas de cada ravina, se ha hecho el cálculo para el conjunto de la cuenca del Etang Pouillet

Entre los distintos métodos que proporciona este programa, se ha elegido como **método de transformación** de la escorrentía en caudal, el Hidrograma Unitario Sintético SCS y como método de precipitación-escorrentía el Número de Curva, también del SCS.

A continuación se muestra una visión general de la interfaz gráfica de HEC-HMS 3.5. El contorno de la cuenca, la red de drenaje y el polígono que

representa al Etang Pouillet, se importan de las capas generadas en ArcGIS 9.3.1 y al ser la cuenca una única unidad, se representa por un sólo icono .

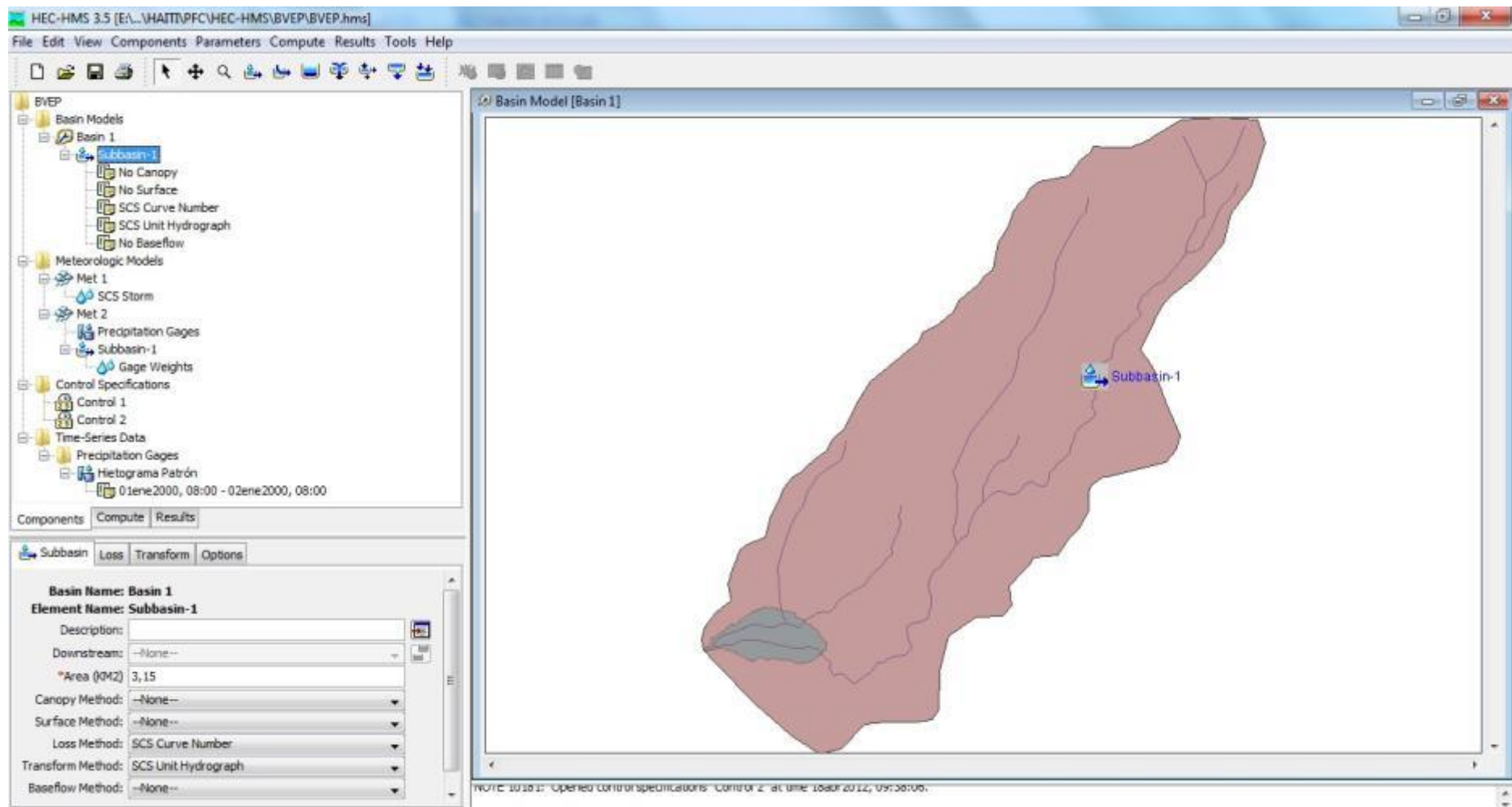


Figura 3.: Visión general de la interfaz gráfica del programa HEC-HMS 3.5

En **modelo meteorológico**, se han escogido dos opciones, la del SCS y la de “precipitation gages”.

El **modelo del SCS**, nos permite introducir la precipitación observada y mediante unos hietogramas tipo que tiene para distintas partes del mundo, calcular el caudal máximo y cuando se produciría. En nuestro caso, se elije el “Type 3” ya que es el calibrado para áreas de la costa atlántica y zonas del golfo de Méjico dónde se producen tormentas tropicales con largos períodos de lluvias, según explica CSC-NOAA (2004).

El **modelo “precipitation gages”**, nos permite igualmente introducir la precipitación observada, y en “times series data” introducir un hietograma patrón, que en este caso se ha construido a través de los factores de disgregación de precipitación desarrollados para el norte del Caribe (Lumbroso, D.M. et al, 2011).

A continuación se presentan las capturas de pantalla que ofrece el programa HEC-HMS 3.5. Para cada modelo hay dos imágenes, en la primera (A) se ven las unidades de los distintos parámetros en mm, lo que sirve para establecer una relación directa entre los mm de precipitación introducidos (1), las pérdidas por infiltración (2), la escorrentía directa (3) y el caudal generado (4). En la segunda imagen (B), los datos obtenidos más interesantes son la precipitación total sobre la cuenca (5) y la escorrentía total generada en la cuenca (6).

Así pues los valores obtenidos para cada uno de los métodos son los siguientes:

Modelo SCS:



Figura 3.2.: Resultados para el Modelo SCS con las unidades en mm.

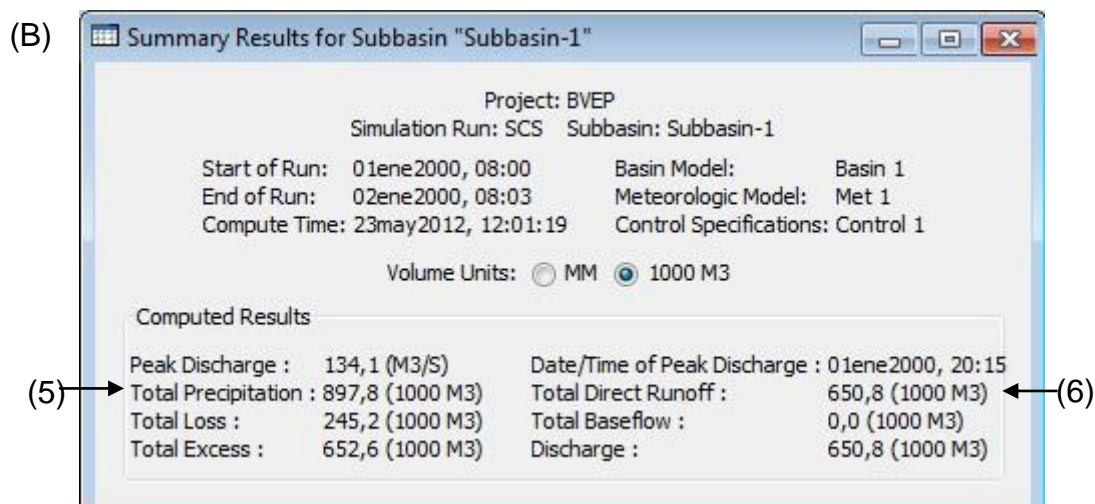


Figura 3.3.: Resultados para el Modelo SCS con las unidades en miles de m³.

Modelo "precipitation gages":

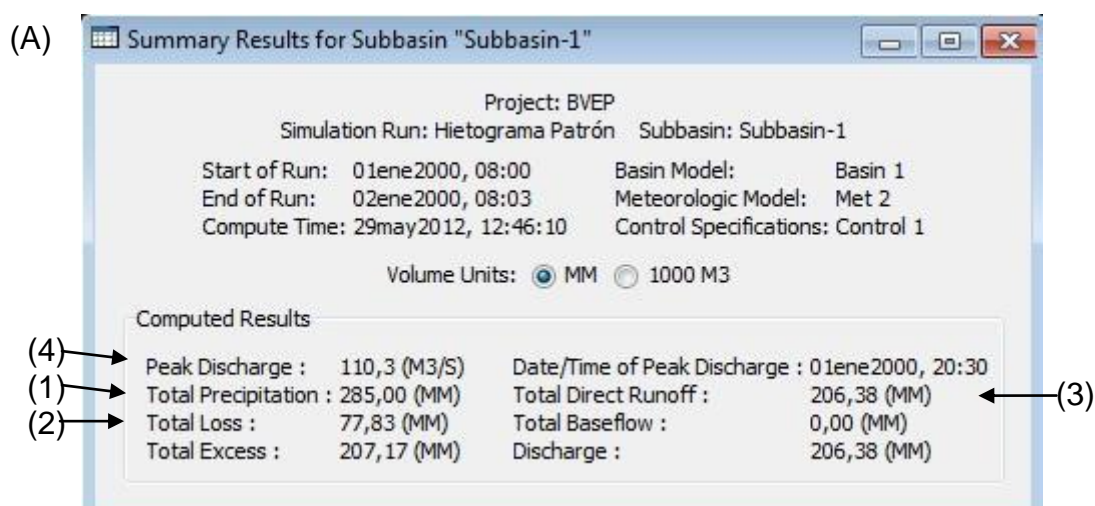


Figura 3.4.: Resultados para el Modelo "precipitation gages" con las unidades en mm.

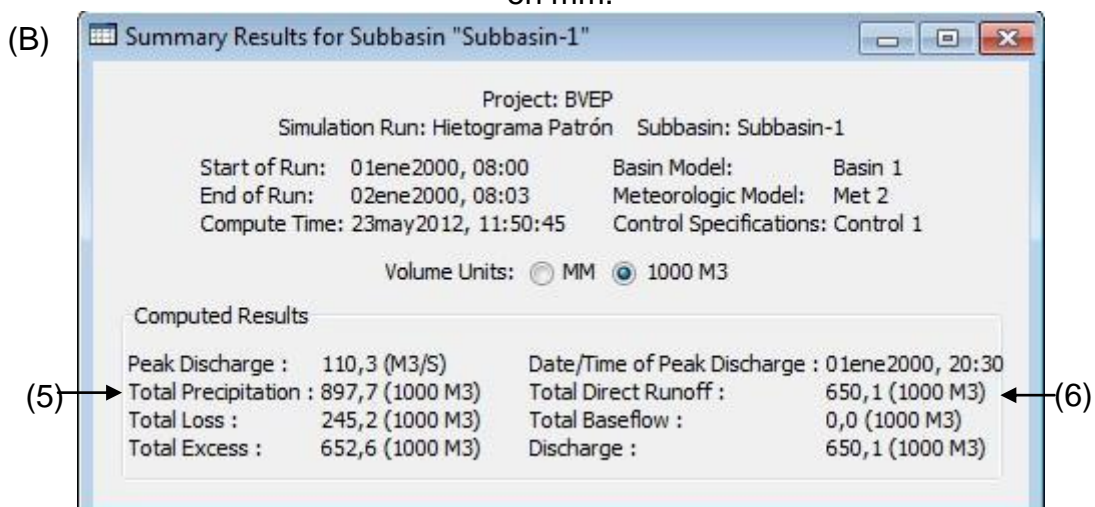


Figura 3.5.: Resultados para el Modelo "precipitation gages" con las unidades en miles de m³.

Como se aprecia en las figuras, los resultados son diferentes según los métodos utilizados pero ambos dentro de un orden de magnitud, a continuación se utilizará la fórmula propuesta por el IAHS y se comentarán los resultados.

3.1.2. Fórmula del IAHS (2003)

En Lumbroso, D.M. et al (2011), se propone usar las siguientes fórmulas desarrolladas por el IAHS (2003), para realizar la cartografía nacional de riesgo por inundaciones extremas en la cuenca del Caribe. Dichos valores de caudal, tienen un período de retorno de 200 años.

$$Q = 500A^{0,43} \text{ para } A > 80 \text{ km}^2$$

$$Q = 100A^{0,8} \text{ para } A < 80 \text{ km}^2$$

Siendo: Q caudal en m³/s
A superficie de la cuenca en km²

Así pues para una superficie de 3,151 km² se obtiene un caudal punta de 250,5 m³/s.

Para calcular el volumen total de escorrentía, se utilizan las fórmulas propuestas por el SCS, dónde interviene el número de curva:

$$V = Q \cdot A$$

$$Q = \frac{(P - 0,2S)^2}{(P + 0,8S)}$$

$$S = \frac{25400}{NC} - 254$$

$$I_a = 0,2S$$

Donde:

V = volumen total de escorrentía producido en la cuenca vertiente, en m³.

Q = escorrentía producida por la tormenta en mm. y su conversión en m.

A = superficie de la cuenca en m².

P = precipitación total de la tormenta en mm.

S = diferencia máxima entre P y Q en mm

NC = número de curva medio para la cuenca, en este caso 76.

I_a = abstracción inicial, no debe superar el valor de P.

Se comienza comprobando la abstracción inicial I_a.

$$S = 80,21 \text{ mm}$$

$$I_a = 0,2S = 16,04 \text{ mm} < P = 285 \text{ mm}$$

$$Q = 207,17 \text{ mm} = 0,21 \text{ m}$$

Para calcular el volumen que genera basta con multiplicar por la superficie de la cuenca, en este caso: $A = 315,1 \text{ ha} \cdot 10^4 \text{ m}^2/\text{ha} = 3151 \cdot 10^3 \text{ m}^2$

$$V = 0,21 \cdot 3151 \cdot 10^3 = 652803 \text{ m}^3$$

3.1.3. Conclusiones sobre caudales líquidos

Como era previsible, en los dos apartados anteriores, se obtienen tres valores de caudales punta y volúmenes de escorrentía distintos, que son los siguientes.

Modelo	SCS	Precipitation Gages	Fórmula IAHS
Caudal punta (m^3/s)	134´1	110´3	250´5
Período de retorno (años)	Desconocido	Desconocido	200
Volumen (m^3)	650800	650100	652803

Tabla 3.1.: Comparación de caudales usando distintos modelos.

El modelo SCS y el de “Precipitation gages” dan valores de caudal punta parecidos ya que ambos usan el mismo valor de precipitación, que es 285 mm y sólo difieren en el hietograma utilizado. Para ambos valores no se puede asignar un período de retorno ya que la calidad de los datos de precipitación impide realizar el ajuste necesario para poder asignar dicho período, así pues 285 mm corresponde a la máxima precipitación observada, como se justifica en PNUD (2009).

Aunque el valor proporcionado por la fórmula del IAHS (2003) para el caudal punta es casi el doble, o más del doble que los valores que se obtienen con el modelo SCS y el de “Precipitation gages” respectivamente, esto se explica porque la fórmula del IAHS está calibrada para un período de retorno de 200 años, en el que es probable que una precipitación supere los 285 mm utilizados en el cálculo de los otros dos modelos.

En este apartado no se ha tenido en cuenta el efecto de laminación que provocaría el Etang Pouillet. La falta de una cartografía más detallada y de una batimetría del lago, ha impedido implementar un modelo de laminación de avenidas.

Estos caudales corresponderían entonces a la entrada del Etang Pouillet. Es cierto que dichos caudales se deberían haber calculado situando el punto de cierre de la superficie de cuenca drenante al inicio del lago, pero la falta de cartografía de detalle impide hacer un cálculo de la superficie correspondiente. De todos modos la diferencia de superficie drenante no sería significativa para la generación de cuadal. Así pues se ha decidido ponerse del lado de la seguridad y asumir esa mayoración de superficie y por tanto de caudales como válidas.

En el caso de los valores de volumen de escorrentía, las diferencias son prácticamente insignificantes, ya que el método que incorpora el HEC-HMS 3.5, es el mismo que se utiliza para el cálculo a mano, realizado anteriormente.

3.2. Caudales sólidos

En la cuenca de estudio, más importante que el cálculo de caudales líquidos, es el cálculo de caudales sólidos, ya que no se dan problemas graves de inundaciones debido a la alta pendiente y encauzamiento de las ravinatas que permiten un rápido desagüe.

La pérdida de suelo en la cuenca del Etang Pouillet es muy alta debido a la intensidad de las precipitaciones propias del clima tropical, la escasa cobertura vegetal y las fuertes pendientes antes mencionadas.

La pérdida de suelo, es preocupante debido al carácter eminentemente agrícola de la cuenca, donde la disminución de la fertilidad y consiguiente disminución de la productividad podría causar problemas de seguridad alimentaria, agudizando la ya precaria vida existente en la zona.

La colmatación por sedimentos del Etang Pouillet, no es para nada una posibilidad remota, ya que un lago adyacente aguas arriba, el Etang Midi, ya ha sido prácticamente colmatado. El Etang Pouillet es una reserva de agua clave para la zona, como se justifica en el estudio socioeconómico, por lo que debe preservarse y evitar en la medida de lo posible su colmatación.



Fotografía 3.1.: Colmatación de una presa de piedras por sedimentos finos después de una temporada de lluvia. *Fuente: Elaboración propia.*



Fotografía 3.2.: Vaso del Etang Midi, colmatado y cultivado.



Fotografía 3.3.: Detalle de los cultivos en el Etang Midi.

3.2.1. Factores que condicionan la pérdida de suelo

Los factores que condicionan la pérdida del suelo, se pueden agrupar en:

- ✓ Hidrológicos
- ✓ Topográficos
- ✓ Edafológicos
- ✓ Cobertura vegetal
- ✓ Influencia humana

La lluvia y la escorrentía proporcionan la energía inicial necesaria para que se desencadene el proceso de erosión (disgregación, transporte y sedimentación) de las partículas del suelo.

La pendiente influye en el aumento de energía potencial y de la velocidad del flujo y la longitud de ladera influye en el incremento del calado y por tanto aumentando ésta, aumenta la capacidad erosiva del flujo.

Las características del suelo determinan la susceptibilidad del suelo a ser erosionado y su capacidad de infiltración, por tanto influirá en la generación de escorrentía y en la eficacia de ésta en el arrastre de materiales del suelo.

La vegetación es el elemento protector del suelo, impide el impacto directo de la lluvia sobre éste, mejora la infiltración y disminuye la velocidad de la escorrentía. Esto se cumple tanto con plantas vivas como con restos vegetales, así que se tendrá en cuenta a la hora de programar actuaciones protectoras contra la erosión.

En la cuenca las prácticas de cultivo han favorecido la erosión, así pues la forma de laboreo tanto en dirección como en intensidad, el aterrazamiento, la rotación de cultivos, el cultivo en fajas, etc, condicionan positiva o negativamente la pérdida de suelo. Otro factor determinante ha sido la deforestación hoy en día prácticamente inexistente dentro de la cuenca, debido a que no queda casi nada de superficie boscosa en la cuenca. Se debería tener especial cuidado en la protección de la vegetación ya que controla la progresión de las ravinas.

3.2.2. Evaluación de la erosión superficial

De los modelos existentes para el cálculo de pérdidas de suelo en cuencas, se va a utilizar la U.S.L.E. ya que en el caso de estudio, la calidad de los datos no permite usar modelos más avanzados como podría ser la R.U.S.L.E. Posteriormente, se utilizará el modelo M.U.S.L.E., para predecir los sedimentos aportados por la cuenca para un aguacero concreto.

3.2.2.1. U.S.L.E.

La Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo, *Universal Soil Loss Equation*, es un método empírico que fue desarrollado por el U.S.D.A Agricultural Research Service en colaboración con el U.S.D.A. Soil Conservation Service.

Fue formulada por Wischmeier, W.H. y Smith, D.D. (1978). Es una ecuación establecida empíricamente para predecir el riesgo de erosión por impacto, laminar y en regueros. Aunque tiene en cuenta todos los factores que afectan a la erosión pluvial, debido a las simplificaciones que plantean, posee algunas limitaciones que posteriormente se intentaron solucionar con la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo Revisada, *Revised Universal Soil Loss Equation* (R.U.S.L.E.). Así pues, aunque la calidad de los datos no hacía posible la aplicación de la R.U.S.L.E., si que en factores que se conoce que la U.S.L.E. sobreestima, como el factor topográfico (LS) se ha utilizado la formulación de R.U.S.L.E. para una cuantificación más adecuada.

La Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo, actualmente, responde a la siguiente expresión:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

Donde:

A, son las pérdidas de suelo en toneladas por hectárea y año (t/ha·año).

R, es el índice de erosión pluvial o factor de lluvia (hJ·cm/m²·h) referido a un año.

K, es el factor de erodibilidad del suelo (t·m²·h/ha·hJ·cm) referido a un año.

L, es el factor de longitud del talud (adimensional).

S, es el factor de pendiente del talud (adimensional).

C, es el factor de cultivo o de vegetación (adimensional).

P, es el factor de prácticas de conservación del suelo (adimensional).

El procedimiento seguido, es el cálculo de cada uno de los factores y realizar un mapa con ArcGIS 9.3.1, para finalmente, superponer todos los mapas y obtener el mapa de pérdidas de suelo según la U.S.L.E.

Aplicación de la U.S.L.E.

A continuación se describe sucintamente cada uno de los parámetros que componen la U.S.L.E. y la forma de estimarlos:

R, *índice de erosión pluvial o de lluvia*. Estima la capacidad potencial de la lluvia para producir erosión y se obtiene con el producto de la energía cinética de la lluvia “E” y la intensidad máxima en 30 minutos “I₃₀”. Para la obtención de este factor es necesario conocer las intensidades de las lluvias. En la cuenca de estudio la falta de este tipo de información ha llevado a obtener este factor mediante fórmulas empíricas como la propuesta por Arnoldus (1977) recogida en Renard, K.G. y Freimund, J.R. (1994).

Como se explica anteriormente en “3.2.1.4 Índices climáticos relacionados con la torrencialidad”, Arnoldus (1977) propone la siguiente expresión para el cálculo del factor R, usando el índice de Fournier modificado (F’).

$$R = 0,264F'^{1,5}$$

Así pues como el valor medio de F’ es 274,47 tenemos que:

$$R = 0,264 \cdot 274,47^{1,5} = 1367 \text{ hJ}\cdot\text{cm}/\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{año}$$

Este valor que en principio parece muy elevado, se ha cotejado con el propuesto para Miami por el programa informático de la R.U.S.L.E. Dónde para una precipitación media anual de 1473 mm se otorga una R de 1124 hJ·cm/m²·h (Renard, K.G. et al (1996)).

Es interesante conocer la distribución mensual del factor R, ya que permite establecer medidas para la reducción de pérdidas de suelo como son la modificación de la estacionalidad de los cultivos y la implementación de prácticas culturales que eviten una fuerte exposición del suelo a la lluvia sobre todo en los meses con valores altos del factor R.

La distribución mensual del factor R, es necesaria para obtener el factor vegetación “C” en terreno agrícola, ya que para su cálculo hay que combinar los valores de “C” por períodos o estados de la cubierta agrícola con la distribución o porcentaje de “R” correspondiente a ese período. Debido a la metodología utilizada para el cálculo de “R” no es posible obtener esa distribución y para calcularla se ha hecho una equivalencia entre la distribución mensual de las precipitaciones y el factor “R”, obteniéndose la tabla siguiente:

Mes	P media mensual (mm)	% P Total	R mensual (hJ·cm/m ² ·h)	Puesto
Enero	26,8	1,5	20,39	12
Febrero	39,1	2,2	29,70	10
Marzo	58,1	3,2	44,13	9
Abril	133,8	7,4	101,68	7
Mayo	259,0	14,4	196,88	2
Junio	182,4	10,1	138,62	5
Julio	171,0	9,5	129,98	6
Agosto	229,9	12,8	174,73	3
Septiembre	219,9	12,2	167,13	4
Octubre	332,4	18,5	252,63	1
Noviembre	114,4	6,4	86,97	8
Diciembre	32,1	1,8	24,40	11
Total año	1799	100	1367	

Tabla 3.2.: Distribución mensual de la precipitación media y del factor R.

Esta tabla, sirve para conocer la distribución mensual del factor R, que es transcendente a la hora de planificar la fenología de cultivos, ya que como se observa, los seis meses con un índice de erosión pluvial mayor, van de mayo a octubre, lo que tiene lógica pues es la época comprendida en la estación ciclónica que genera lluvias por tormentas tropicales y huracanes.

K, factor de erodibilidad del suelo. Cuantifica la susceptibilidad de cada suelo a ser erosionado mediante una expresión deducida experimentalmente. Los factores que determinan la erosionabilidad del suelo son, por orden de importancia: textura, contenido en materia orgánica, estructura y permeabilidad del suelo.

Cada valor de K, está referido para un tipo de escenario, definidos en el apartado "3.2.3.2. Suelos". Como se explica en el Anexo I.4. los valores de textura y de materia orgánica, se han obtenido mediante los análisis edafológicos realizados en el laboratorio de análisis de suelos de la Facultad de Agronomía y Medicina Veterinaria de la Universidad del Estado de Haití en Puerto Príncipe, recogidos en el Anexo citado anteriormente.

A parte del nomograma, existe una expresión con buen ajuste para contenidos de limo + arena fina menor del 70%, caso que no se supera en los análisis. Dicha expresión es la siguiente y es la que se ha utilizado en la asignación del valor de K para cada escenario.

$$K = 10^{-4} \cdot 2,71 \cdot M^{1,14} \cdot (12-a)+4,2 \cdot (b-2)+3,23 \cdot (c-3)/100$$

Dónde:

M = (100 - % arcilla) · (% limo + % arena fina)

a, es el % de materia orgánica, si supera el 4%, se pone 4%.

b, nº correspondiente a la estructura del suelo.

c, clase de permeabilidad del perfil del suelo, según la codificación de la U.S.D.A.- Soil Survey Manual.

A continuación se presenta la tabla de resultados para cada escenario y la figura correspondiente al mapa de factor K.

	Sup. (ha)	% Arcilla (<0,002 mm)	% Limo (0,002 - 0,05 mm)	% Arena fina (0,05 - 0,1 mm)	% (limo + arena fina)	% Arena gruesa (0,1 - 2 mm)	M	% M.O.	Est.	Perm.	Valor de K
1	2,29	5	40	10	50	45	4750,00	4,00	2	2	0,30
2	46,49	5	30	11	41	54	3895,00	4,00	2	2	0,24
3	6,60	15	25	10	35	50	2975,00	4,00	3	2	0,21
4	62,37	20	25	9	34	46	2720,00	4,00	2	4	0,21
5	39,33	10	20	10	30	60	2700,00	4,00	3	2	0,19
6	43,99	15	20	10	30	55	2550,00	4,00	3	2	0,18
7	42,52	10	25	10	35	55	3150,00	4,00	3	2	0,22
8	62,61	20	25	9	34	46	2720,00	4,00	2	4	0,21

Tabla 3.3.: Valores de K para los distintos escenarios de la cuenca del Etang Pouillet.

Donde: *Esc.* es el escenario según lo definido en el apartado “3.2.3.2. Suelos”; *Sup.* la superficie en hectáreas; *M* según lo definido anteriormente; % *M.O.* es el porcentaje de materia orgánica, en este caso todos los valores son 4% ya que se superaba este porcentaje, para ver los valores analizados, ver Anexo I.4”; *Est.* y *Perm.* son los códigos de estructura y permeabilidad según el tipo de suelo.

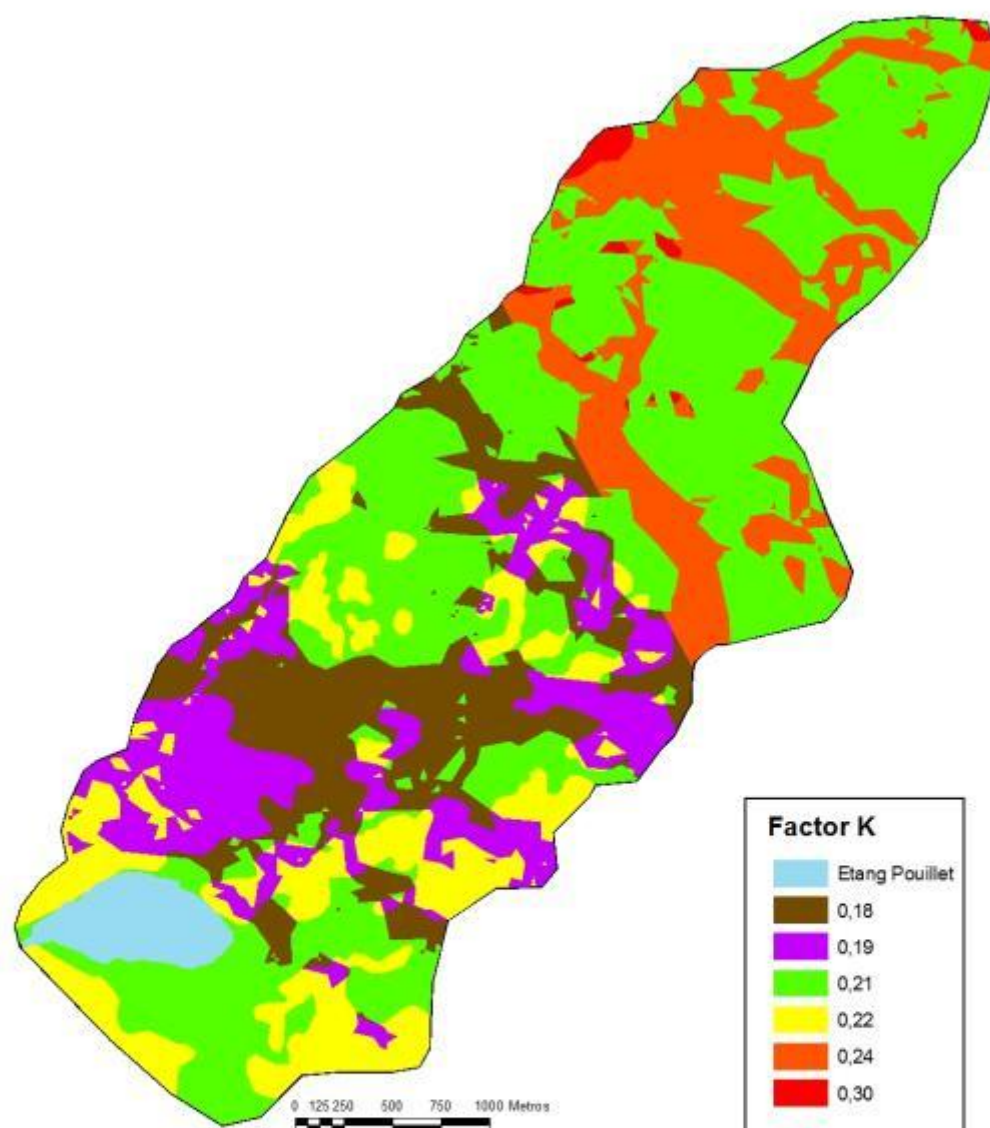


Figura 3.1.: Mapa de factor K para la cuenca del "Etang Pouillet". *Fuente: Elaboración propia.*

L, *factor de longitud de ladera* y **S**, *factor de pendiente de la ladera*. Inicialmente fueron evaluados por separado y tienen representación individualizada, pero actualmente suelen reunirse bajo la denominación de **LS**, *factor topográfico*, integrando de esa forma el efecto del relieve sobre la pérdida de suelo.

Se sabe que el factor LS es por la U.S.L.E., se ha utilizado para su estimación, el programa informático desarrollado para el cálculo de la R.U.S.L.E. en su versión 1.06 c y así sacar unos valores más próximos a la realidad para este apartado. Ya que para su estimación tiene en cuenta además de “L” y “S” la textura del suelo y el uso general de éste, determinantes en la influencia y efectos de la longitud de ladera y la pendiente, pues determinan la posible aparición de regueros.

También se han calculado los valores que se obtendrían con la formulación que para este factor considera la U.S.L.E. y se ha hecho una comparativa observando cómo se comentó que los valores de LS con U.S.L.E. son mayores que con R.U.S.L.E., por lo que para la generación del mapa correspondiente y del cálculo de pérdidas de suelo mediante la U.S.L.E. se introducirán los datos obtenidos mediante la R.U.S.L.E.

Se ha estimado un valor medio del factor L, para cada rango de pendiente propuesto por la FAO. El valor de la longitud de ladera por falta de datos, es un valor medio para el conjunto de toda la cuenca, como bien se explica en el apartado “3.2.2.3. Parámetros de la red de drenaje”.

La expresión que define el valor del factor L es la siguiente.

$$L = (L_0/22,1)^a$$

Donde:

L_0 , es la longitud de ladera, es este caso 187m.

a, es un exponente que va en función de la pendiente (p).

22,1 son los metros de la parcela estándar de la U.S.L.E.

p (%)	a
< 1	0,2
1 – 3	0,3
3 – 5	0,4
> 5	0,5

Tabla 3.4.: Valores de “a” según la pendiente (p)

El factor S, responde a la siguiente expresión:

$$S = 0,006541 \cdot p^2 + 0,045 \cdot p + 0,065$$

Donde:

p, es el valor del porcentaje de la pendiente.

El valor de p, es el valor medio de rango de pendientes propuesto por la FAO. Ha sido así menos en el último rango, > 45%, para el que se ha hecho un mapa de pendientes para las zonas de más de dicho valor y se ha calculado una media ponderada por la superficie, obteniéndose un valor del 66%.

A continuación se presenta la tabla del factor LS, donde se puede observar el valor de cada uno de los componentes para el cálculo de dicho factor, y se da un resultado final según la U.S.L.E. (usando las fórmulas anteriores) y la R.U.S.L.E. (usando el programa informático).

Pendientes		Área (ha)	Longitud de ladera (m)	Factor L (USLE)	Factor S (USLE)	L·S		Ratio
						USLE	RUSLE	
0-2%	1	35,33	187,27	1,90	0,12	0,22	0,17	1,3
2-5%	3,5	6,52		2,35	0,30	0,71	0,66	1,1
5-8%	6,5	3,57		2,91	0,63	1,85	1,41	1,3
8-16%	12	40,18		2,91	1,55	4,50	3,48	1,3
16-30%	23	88,17		2,91	4,56	13,27	9,00	1,5
30-45%	37,5	66,34		2,91	10,95	31,88	16,20	2,0
>45%	66	66,07		2,91	31,53	91,78	27,90	3,3
Lago		8,92						
		315,1						

Tabla 3.5.: Valores del factor LS según la USLE y la RUSLE.

Como se observa en la última columna el valor estimado por la USLE es siempre mayor que el estimado por la RUSLE, llegando a triplicarlo. A medida que aumenta la pendiente, aumenta el ratio. Por lo que será el valor obtenido con R.U.S.L.E. el que se considerará en el estudio.

Para los demás factores no se ha considerado la R.U.S.L.E. pues para su cálculo requiere de mucha información no disponible en la cuenca de estudio.

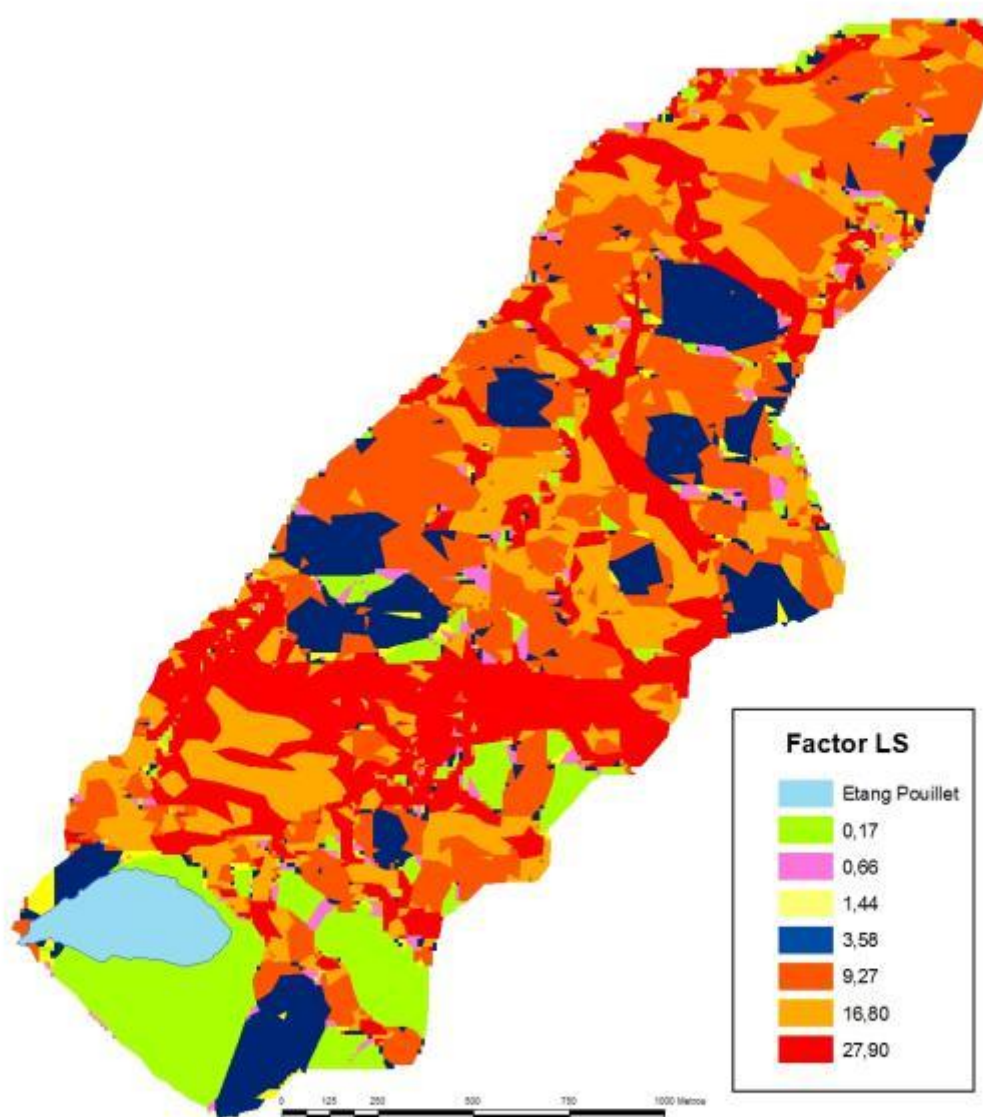


Figura 3.2.: Mapa de factor LS para la cuenca del "Etang Pouillet".
Fuente: Elaboración propia.

C, factor de cultivo o de vegetación. Este factor cuantifica la influencia que sobre la protección del suelo tiene la cubierta vegetal y su manejo frente a la fuerza erosiva de las precipitaciones, amortiguando no sólo la energía con la que llegan las gotas de lluvia a la superficie del suelo, sino el movimiento del flujo superficial sobre él.

En este caso se distinguen dos tipos de escenarios para el factor C, dependiendo si el cultivo es de especies anuales o perennes (incluida aquí la pequeña masa de *Pinus occidentalis*). Para la asignación de valores se escogen los propuestos por FAO, según lo expuesto en Lianes, E. (2008).

Uso	Superficie (ha)	% Superficie	Factor C
Cultivo especies anuales	215,7	68,5	0,495
Cultivo especies arbóreas	90,5	28,7	0,079
Lago	8,9	2,8	
	315,1	100,0	

Tabla 3.6: Valores del factor C de la USLE.

El cultivo de especies arbóreas consiste sobre todo en cafetales de sombra, acompañados de cítricos, bananos y frutales, como se explica anteriormente en el apartado “3.2.4. Vegetación”. Estos cafetales constituyen por si mismos un excelente sistema agroforestal, en el que se podría incluir alguna especie leñosa de crecimiento rápido para cultivo de leñas con fines energéticos. A la hora de hacer el muestreo para el análisis de suelos, se constató “insitu” que las características edáficas de estos sistemas eran mejores que dichas características de las zonas de cultivo de especies anuales presentando mayor cantidad de humus, mejor estructura, más humedad del suelo y mayor actividad biológica (lombrices).

Siendo un sistema mucho más beneficioso, representa escasamente un 30% de la superficie cultivada, hecho que se tendrá en cuenta en el planteamiento de.

A continuación se muestra un mapa con los diferentes sistemas de cultivos y su valor correspondiente de “C”.

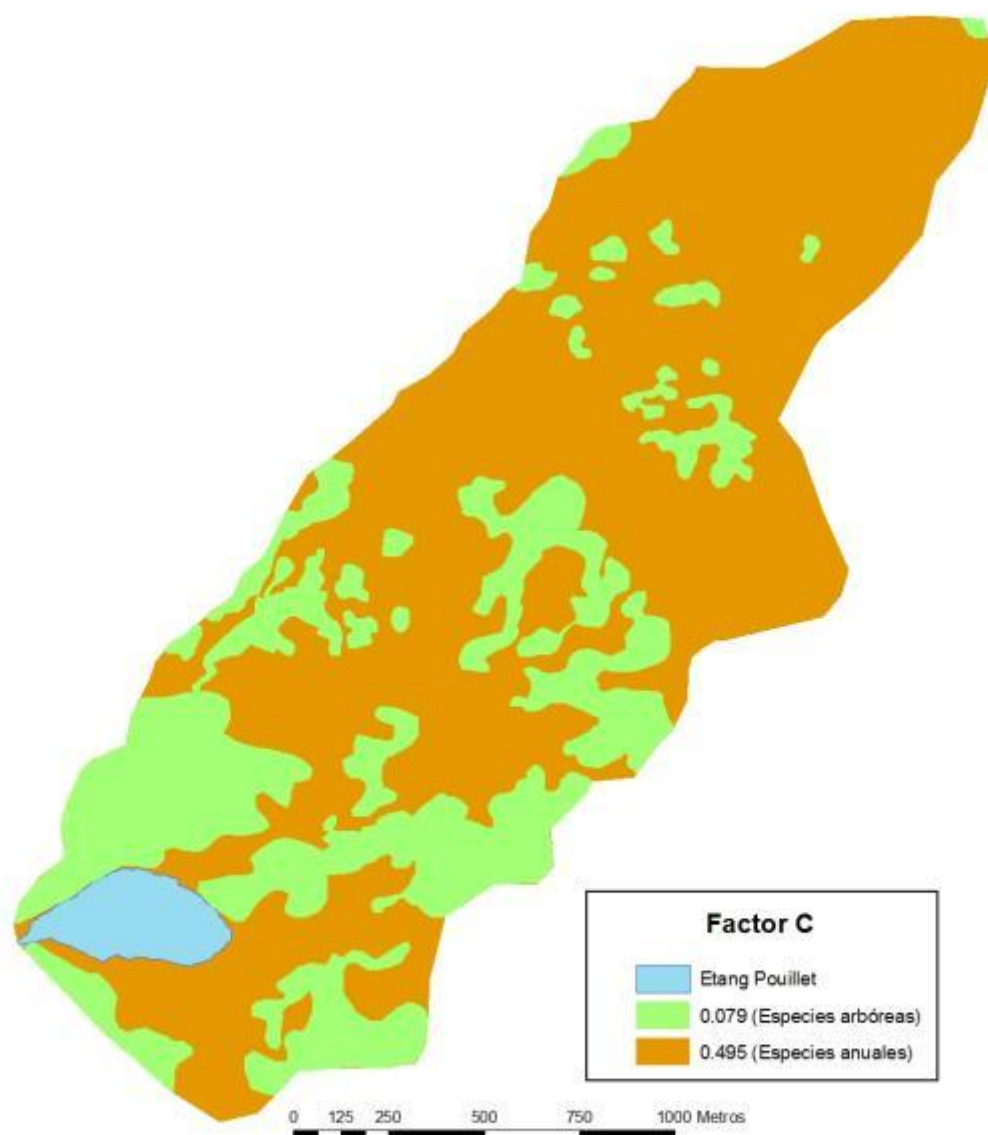


Figura 3.3.: Mapa de factor C para la cuenca del “Etang Pouillet”. *Fuente: Elaboración propia.*

P, *factor de prácticas de conservación*. Este último factor de la U.S.L.E. recoge la influencia que tienen las prácticas de conservación de suelos sobre las tasas de erosión. Las prácticas de conservación lo que hacen es redirigir la escorrentía, y disminuir su velocidad lo que conlleva a la reducción de pérdidas de suelo y a favorecer la sedimentación.

Se ha considerado para toda la cuenca del Etang Pouillet el valor del factor P como la unidad, ya que las prácticas de conservación de suelos son inexistentes, usándose en el mejor de los casos los cultivos en curva de nivel, que a partir de una determinada longitud de ladera pierden efectividad, como en el caso que nos ocupa, frente a la erosión como se muestra en la tabla siguiente.

Pendiente (%)	Cultivo a nivel		Cultivo en fajas	Cultivo en terrazas
	Factor P	Long. Máxima (m)		
1 - 2	0,6	120	0,3	0,12
3 - 5	0,5	90	0,25	0,1
6 - 8	0,5	60	0,25	0,1
9 - 12	0,6	35	0,3	0,12
13 - 16	0,7	25	0,35	0,14
17 - 20	0,8	20	0,4	0,16
21 - 25	0,9	15	0,45	0,18

Tabla 3.7.: Valores del factor P de la USLE.

La elección de la unidad como valor del factor P queda así justificada, ya que la cuenca posee una pendiente media del 33% y una longitud de ladera de 187 m. Con lo que a la vista de lo expuesto en la tabla anterior, la influencia del cultivo a nivel se puede considerar despreciable.

A continuación se presenta el **mapa de pérdidas de suelo** calculado mediante la superposición de los mapas realizados para los distintos factores de la U.S.L.E. Se han agrupado las pérdidas de suelo mediante intervalos según la clasificación de FAO (1981).

Pérdidas de suelo (t/ha·año)	Grado de erosión
< 10	Nula o ligera
10 - 50	Moderada
50 - 200	Alta
> 200	Muy alta

Tabla 3.8.: Baremos para la clasificación de pérdidas de suelo propuesto por FAO (1981).

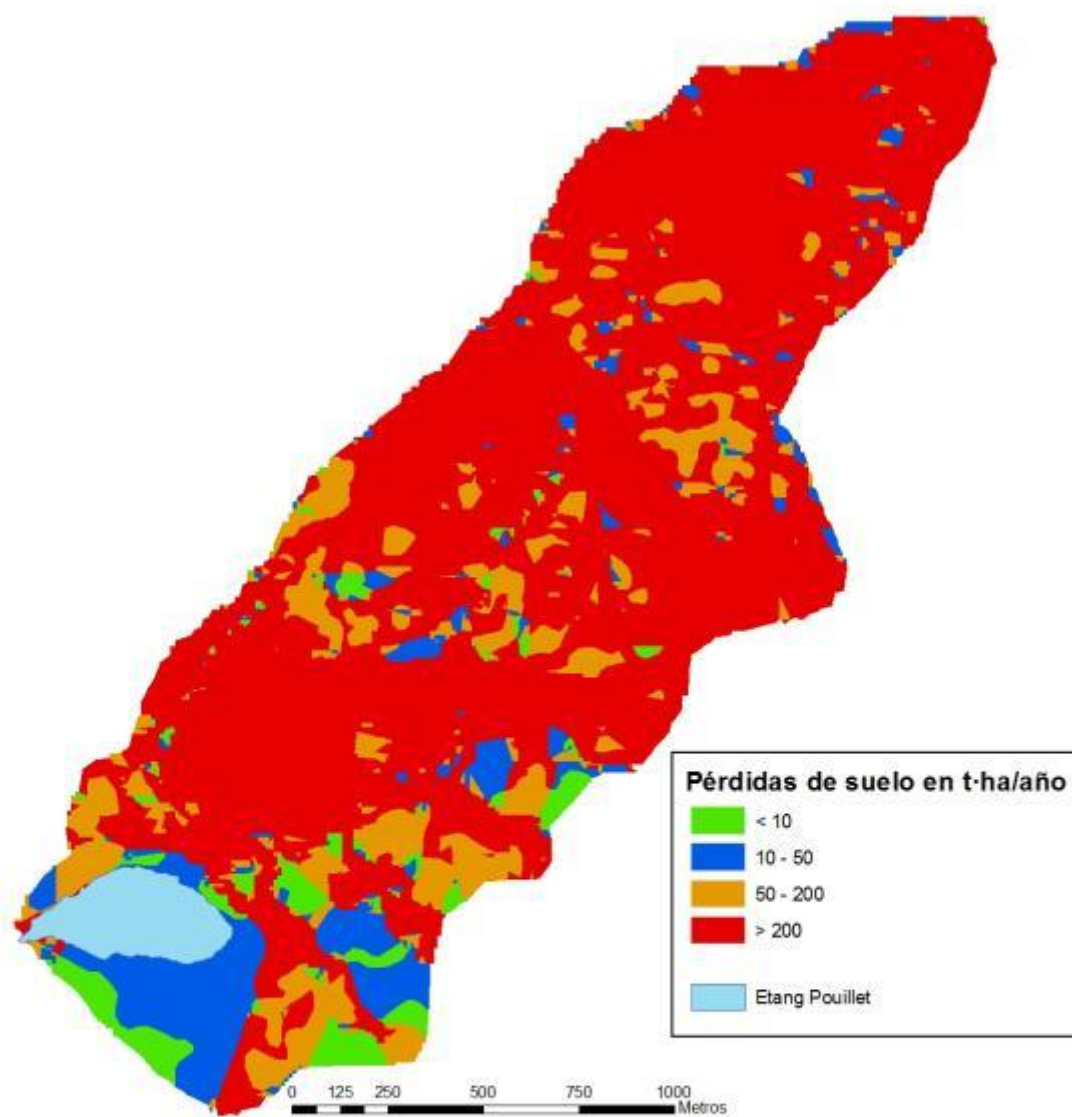


Figura 3.4.: Mapa de la U.S.L.E. para la cuenca del "Etang Pouillet".
Fuente: Elaboración propia.

Del estudio del mapa anterior, se desprende la siguiente tabla:

Pérdidas de suelo (t/ha·año)	Grado de erosión	Sup. (ha)	% Sup.
< 10	Nula o ligera	12,4	4,0
10 - 50	Moderada	26,5	8,7
50 - 200	Alta	40,9	13,4
> 200	Muy alta	226,5	74,0
		306,2	100,0

Tabla 3.9.: Superficies afectadas por cada grado de erosión.

Como se recoge en la tabla, el grado de erosión en la cuenca del Etang Pouillet, es muy elevado, más del 87% de la cuenca presenta tasas de erosión altas o muy altas.

En el cálculo de superficies, se elimina el área inundada por el Etang Pouillet, unas 8,9 ha en su estado de máxima ocupación.

En el capítulo de “4. Soluciones técnicas”, se abordarán las propuestas de actuación sobre los factores de la U.S.L.E. más fácilmente modificables como son el factor C y el factor P y se propondrán igualmente medidas para la modificación del factor LS, aunque sea más difícil de manejar. Los factores R y K, son inherentes al clima y al suelo por lo que su modificación es imposible.

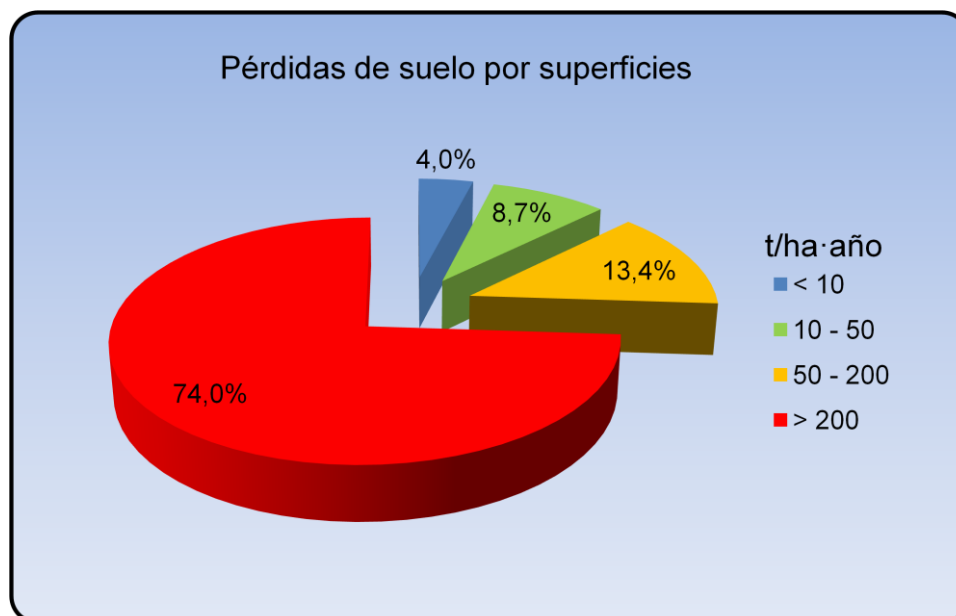


Gráfico 3.1.: Pérdidas de suelo por superficie según la clasificación de FAO, (1981). Fuente: *Elaboración propia*.

3.2.2.2. M.U.S.L.E.

La M.U.S.L.E. es la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo Modificada (Modified Universal Soil Loss Equation), que se concibió como una extensión de la U.S.L.E. para pequeñas cuencas hidrográficas. Se utiliza para predecir los sedimentos aportados en una cuenca por un aguacero concreto. En este caso se ha calculado para el mayor evento conocido, en septiembre de 1966, donde se registró en la estación de Seguin, una precipitación de 285 mm.

Para ello se sustituye el valor del factor R por dos parámetros que tienen en cuenta la influencia de la escorrentía superficial en el transporte y emisión de sedimentos: el volumen total de escorrentía en la cuenca vertiente (V) y el caudal punta (q_p).

La expresión, propuesta por Williams (1975), queda de la siguiente manera:

$$Y = 11,8 \cdot (V \cdot q_p)^{0,56} \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$$

Donde:

Y = Sedimentos emitidos por la tormenta elegida (t).

V = Volumen de escorrentía en la cuenca vertiente (m^3).

q_p = Caudal instantáneo máximo (m^3/s)

K, LS, C y P = Mismos factores que en el modelo U.S.L.E.

Para éstos últimos factores, se calcula un valor medio ponderado por la superficie, que se asigna para toda la cuenca.

Los valores de V y q_p son los obtenidos mediante HEC-HMS 3.5. y la fórmula del SCS en el apartado "3.1. CAUDALES LÍQUIDOS".

Los resultados de los valores y de los sedimentos emitidos se recogen en la siguiente tabla.

Método utilizado	11,8	V (m^3)	q_p (m^3/s)	K	LS	C	P	Y (t)
SCS	11,8	650800	134,1	0,10	12,63	0,37	1	161223
Hietograma sintético	11,8	650100	110,3	0,10	12,63	0,37	1	144426
IAH	11,8	652803	250,5	0,10	12,63	0,37	1	229164

Tabla 3.10.: Cálculo de la M.U.S.L.E. según los distintos valores de Q y q_p .

3.2.3. Conclusiones sobre caudales sólidos

Aunque en el presente trabajo se ha hecho un gran esfuerzo por ajustar lo máximo posible los valores de los factores a los que corresponderían en la realidad, debido a la calidad de los datos no siempre ha sido posible, por lo que los modelos constituyen una primera aproximación al conocimiento de la cuenca.

De todos modos, no es la filosofía de estos modelos dar valores exactos, si no órdenes de magnitud, que permitan establecer actuaciones en las áreas con riesgos erosivos importantes y priorizar dichas actuaciones.

Los resultados obtenidos mediante la U.S.L.E. y la M.U.S.L.E. no son comparables ya que la primera da valores de sedimentos movilizados dentro de la cuenca pero que no tienen porque salir de la misma, para un año medio. Mientras que la M.U.S.L.E. da valores de sedimentos que salen de la cuenca para un evento concreto.

Del estudio de resultados de ambas ecuaciones se desprende que las pérdidas de suelo son muy elevadas, por lo que actuaciones que impidan la erosión son más que necesarias y quedan así técnicamente justificadas.

En el capítulo de “4. Soluciones técnicas” se priorizarán zonas de actuación, aunque el hecho de que más 87% de la cuenca presente tasas de erosión altas o muy altas, hacen considerar a la cuenca en su conjunto como muy problemática desde el punto de vista erosivo, lo que provocará un tratamiento integral de la misma con técnicas de conservación de suelos.

4. SOLUCIONES TÉCNICAS

En este capítulo se describen las soluciones técnicas y actuaciones correctoras propuestas para la disminución de tasas de erosión en la cuenca del Etang Pouillet. De las múltiples actuaciones que se recogen en la bibliografía, se han elegido aquellas que a juicio del autor y de otros técnicos conocedores del terreno son más efectivas y la mano de obra local puede ejecutar más eficazmente.

Como se ha justificado en capítulos anteriores atendiendo a criterios técnicos, la agricultura es una actividad que no se debería realizar en la mayor parte de la cuenca del Etang Pouillet. Sin embargo la agricultura es de una importancia vital ya que es el sustento de casi todas las familias de la zona. Por esto, en este capítulo se van a proponer actuaciones encaminadas a proteger al suelo de la erosión hídrica teniendo en cuenta las necesidades de alimento de la población local.

4.1. Técnicas de replanteo

4.1.1. Utilización de nivel en “A”

Antes de comenzar con las actuaciones se procede a explicar una de las técnicas de replanteo de obras más comunes. El nivel en “A” sirve para el trazado de curvas de nivel, con el fin de que las zanjas de infiltración y las albarradas queden dispuestas a nivel a lo largo de las laderas.

Como se muestra en la figura 4.1. hay dos tipos de niveles en “A”. Un tipo utiliza un nivel de burbuja adosado al travesaño horizontal y el otro tipo utiliza una cuerda y una pequeña plomada.

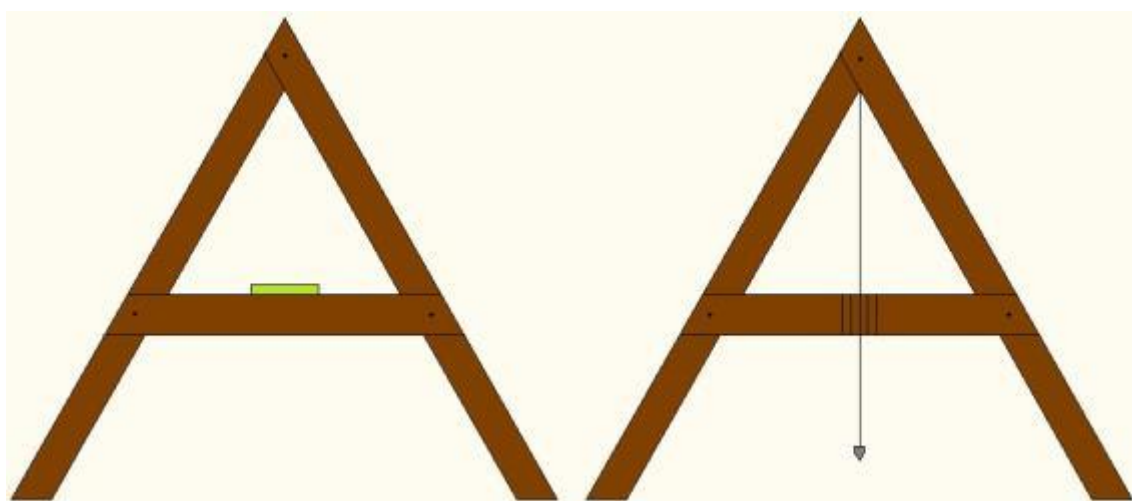


Figura 4.1. Niveles en “A”. Con nivel de burbuja (izda.) y con plomada (dcha.).

Fuente: Elaboración propia.

El nivel de burbuja es más rápido y fácil de usar pero no siempre será posible disponer del mismo, en cambio la plomada puede ser construida con una piedra o una botella pequeña de plástico llena de arena o agua.

Es un instrumento que tiene como ventajas su bajo coste, facilidad de construcción y sencillo manejo, por lo que se considera adecuado para la realización de obras de conservación de suelos en el medio rural de países en vías de desarrollo.

Diseño:

Las dimensiones y materiales de referencia son las siguientes:

- Dos tablas de madera de 2 a 3 cm de grosor, 8 cm de ancho y 2 m de largo y otra de 1'5 m de largo con el mismo grosor y ancho.
- Tres clavos.
- Nivel de burbuja o plomada.
- Hilo flexible si se elije la plomada.

Utilización:

1. Se elige el punto de inicio de la obra y se marca clavando una estaca.
2. Se coloca el nivel en "A" con sus dos extremos perpendiculares a la pendiente, uno de ellos debe quedar junto a la estaca.
3. Se mueve el otro extremo hasta que el nivel o la plomada marcan el centro y se clava otra estaca como se ve en la foto 4.1.



Foto 4.1. Utilización del nivel en "A". *Fuente: Elaboración propia.*

4. El nivel se desplaza lateralmente en dirección del trazo, ubicando la primera pata en la última estaca y así sucesivamente hasta llegar al extremo del terreno como se ve en la figura 4.2.

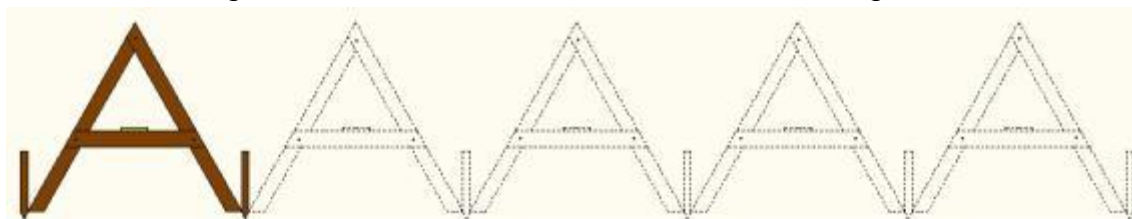


Figura 4.2. Desplazamiento lateral del nivel en “A” a lo largo de la ladera.

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Actuaciones

A continuación se explican las diferentes actuaciones propuestas para la reducción de la erosión en la cuenca del Etang Pouillet, distinguiendo si se hacen sobre laderas, cauces o cárcavas. Se ha distinguido cárcavas de cauces porque éstas además de encontrarse en la cabecera de algunos cauces (ravinas) también se forman en laderas sin ir ligadas a un curso de agua.

Como se puede observar en la figura 3.4. “Mapa de la U.S.L.E. para la cuenca del “Etang Pouillet”” y en el mapa nº 11 salvo unas pocas hectáreas colindantes al “Etang Pouillet” toda la cuenca presenta tasas de erosión altas o muy altas así que la intervención en la cuenca será en la medida de lo posible integral.

4.2.1. En ladera

En numerosas ocasiones en Haití se interviene sólo sobre las ravinas pues son de dominio público y no exigen un esfuerzo de negociación con ningún propietario particular. En cambio las laderas se dejan sin intervenir, hecho grave ya que es en estas donde se debe y puede frenar la escorrentía y consiguiente erosión.

Cuando el agua con los sedimentos llega a las ravinas ya se ha producido una pérdida de suelo en las laderas irreversible. Mediante las obras transversales en los cauces, los sedimentos se podrán frenar, pero ya están deslocalizados de su posición original cuestión que se debe evitar. Así mismo cuanto menos agua llegue a las ravinas, menor será su calado y por tanto menor su velocidad y capacidad erosiva.

A continuación se enumeran los objetivos generales de las actuaciones en ladera sin perjuicio de los objetivos particulares de cada actuación que se nombran si fuese el caso en su apartado correspondiente.

Objetivos:

- Reducción de la erosión hídrica laminar.
- Disminución de la longitud de ladera interviniente en el factor “L” de la U.S.L.E.
- Aumentar la resistencia del suelo al impacto y a la escorrentía disminuyendo la erodibilidad mejorando la estructura del suelo.
- Proteger la superficie del suelo frente al impacto de las gotas de lluvia.
- Reducir el poder erosivo de la escorrentía:
 - ✓ Disminuir el volumen de escorrentía aumentando la capacidad de infiltración
 - ✓ Disminuir la velocidad de la escorrentía aumentando la rugosidad superficial y reduciendo pendientes y longitudes de ladera.

Acciones:

- Gestión de cubierta vegetal.
- Manejo de cultivos y prácticas de conservación de suelos.
- Correcta gestión del pastoreo.
- Biotecnias e hidrotecnias.

4.2.2.1 Tipos de actuaciones***Zanjas de infiltración***

Las zanjas de infiltración están concebidas para la captación de agua de escorrentía superficial y para favorecer la infiltración. Esto permite un aumento del flujo subsuperficial que facilita la captación de agua por parte de los vegetales y una mayor tasa de recarga de los acuíferos.



Foto 4.2.: Zanja de infiltración. *Fuente: Elaboración propia.*

Características y diseño:

Las zanjás se excavan siguiendo una curva de nivel trazada mediante el nivel en “A”. El volumen de excavación se coloca inmediatamente aguas abajo de la zanja.

En relación a la U.S.L.E. esta técnica disminuye la longitud de ladera “ L_0 ” y por tanto el factor L .

Este tipo de obras es adecuado para terrenos de particulares donde se realice actividad agrícola o sean zonas aprovechadas para la pascicultura ya que entre las líneas de zanjás se puede cultivar o reservar el terreno para pasto de diente.

Sobre el volumen de excavación se puede y además es aconsejable, plantar especies arbóreas. Es conveniente que sea el propietario quien elija las especies que más le interesan, como mangos, aguacates, cítricos...

El **espaciamiento** entre líneas de zanjas y **las dimensiones de las zanjas**, deben responde a un diseño tal que las mismas sean adecuadas para la captación del 50% de la precipitación de período de retorno de 5 años, según CONAFOR (2006).

Se ha hecho el análisis estadístico para determinar la precipitación de diseño para el período de retorno de 5 años, mediante el programa *Retorno* de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). El cual, una vez introducidas las precipitaciones observadas hace un ajuste mediante distintas funciones de distribución de probabilidad, en concreto Gumbel, Log-Pearson Tipo III y SQRT-ETmax.

En la figura 4.3. se presentan los resultados obtenidos mediante el programa *Retorno*. La media de los tres ajustes para un período de retorno de 5 años es 49,07 así que se ha fijado 50 mm como la precipitación de diseño.

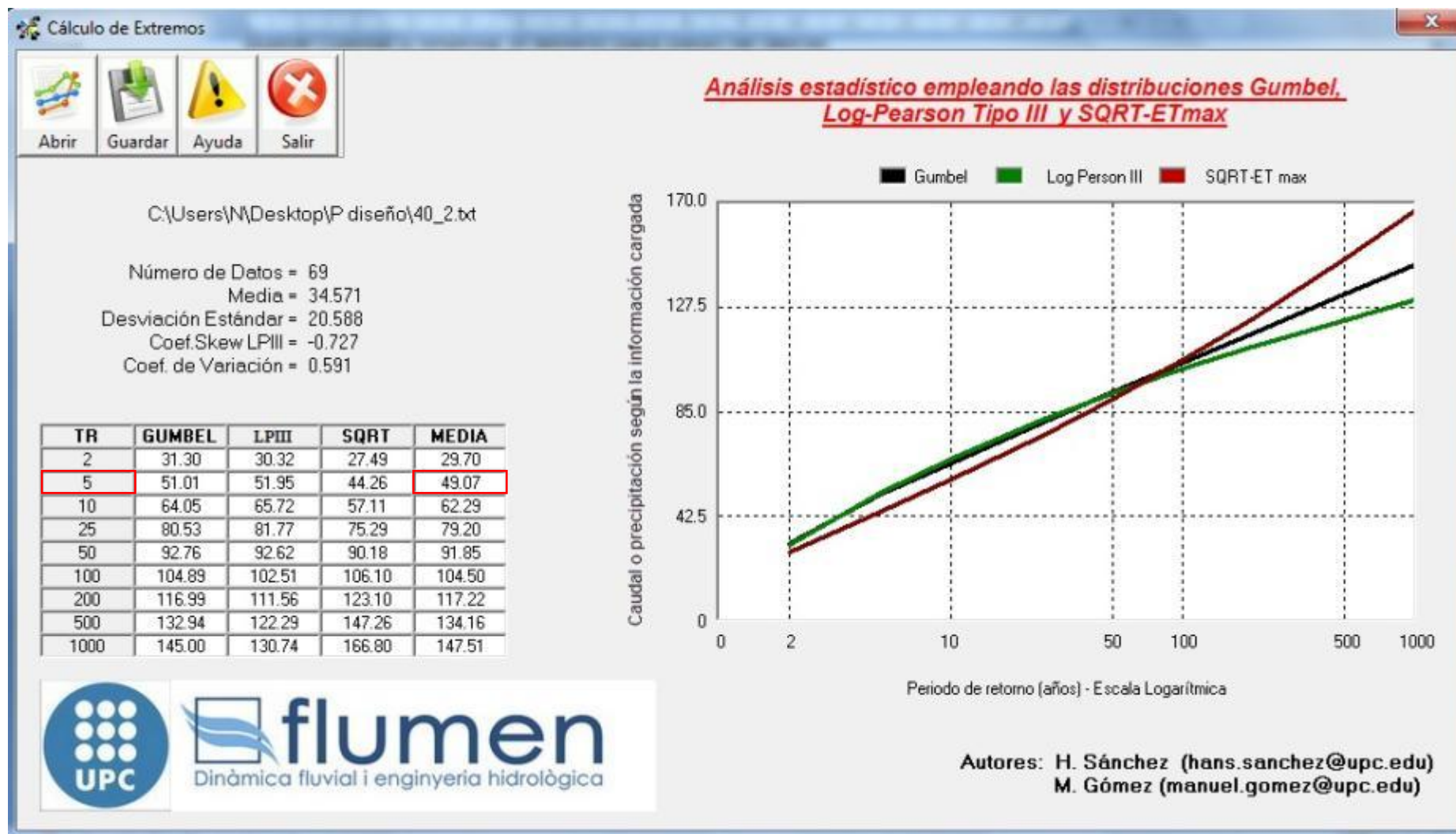


Figura 4.3.: Pantalla del programa *Retorno* de la UPC.

Para dicha precipitación de diseño de 50 mm, y teniendo en cuenta las recomendaciones de CONAFOR (2006) el diseño final queda de la siguiente manera.

Dimensiones de la zanja y espaciamiento:

En la figura 4.4. se muestra un croquis del replanteo de las zanjas en la zona de intervención, donde “L” es la distancia entre zanjas y “c” el paso entre una zanja y otra, despreciable para el cálculo.

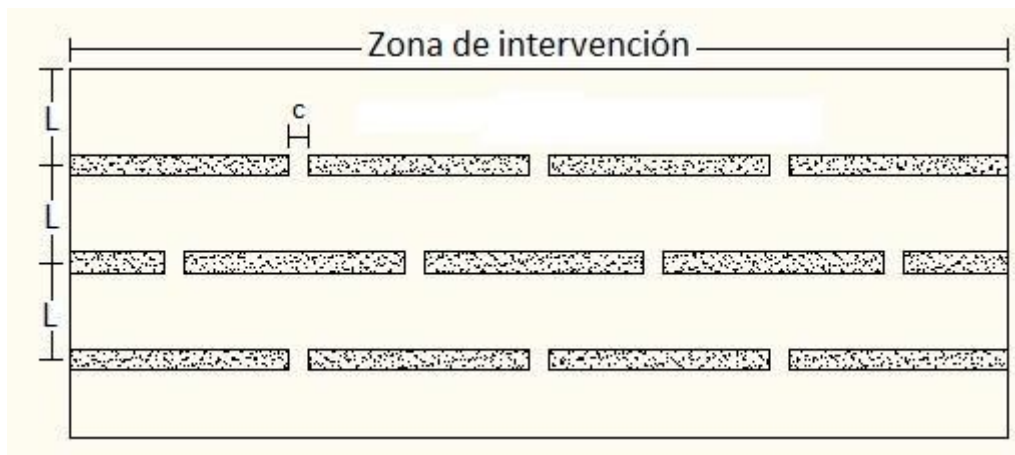


Figura 4.4.: Croquis de replanteo de las zanjas. *Fuente: Elaboración propia.*

En la figura 4.5. se muestra una representación de las zanjas, el largo “X”, se fija en 4 ó 5 m y “c” en 20 cm, así se evita que en la zanja se forme cárcava, según CONAFOR (2006). El ancho “i” y la profundidad “z” son valores que se fijan y a partir de ello se calcula el espaciamiento “L”.

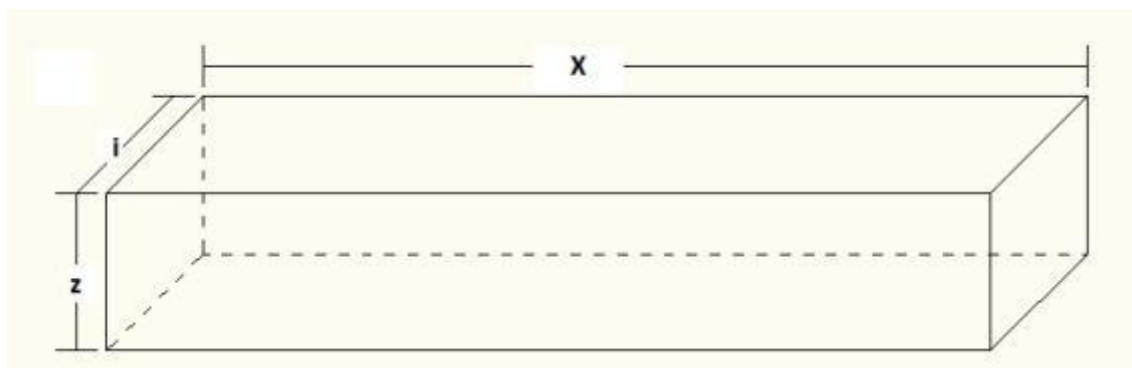


Figura 4.5.: Representación de la zanja de infiltración. *Fuente: Elaboración propia.*

Fórmulas que relacionan las dimensiones de las zanjas con el espaciamiento y la precipitación de diseño:

$$L \cdot P = i \cdot z$$

$$i = z$$

$$L \cdot P = i^2$$

$$i = \sqrt{L \cdot P}$$

Donde:

L, es el espaciamiento entre zanjas, en m.

P, es el 50% de la precipitación para un período de retorno de 5 años, en m. En este caso 25 mm = 0,025 m.

i, ancho de la zanja, en m.

z, profundidad de la zanja, en m.

A continuación se presenta la tabla 4.1. donde para distintos valores de “i” y “z” se obtienen sus respectivos valores de espaciamiento entre zanjas “L”. Se ha decidido hacerlo así y no dar un valor fijo para que el espaciamiento entre zanjas se pueda acomodar a las características particulares de cada parcela.

P diseño (m)	0,05		
Captación	50%		
i (m)	0,5	0,6	0,7
z (m)	0,5	0,6	0,7
L (m)	10	15	20

Tabla 4.1.: Dimensiones de las zanjas y espaciamiento entre las mismas.

Las zanjas de infiltración se instalarán en pendientes entre el 8% y el 45%, disminuyendo la distancia entre ellas cuanto mayor sea la pendiente. Así pues unos valores de referencia para el espaciamiento de las zanjas según la pendiente se muestran en la tabla 4.2.

L (m)	10	15	20
Pdte. (%)	35 - 45	20 - 35	8 - 20

Tabla 4.2.: Espaciamiento de las zanjas según la pendiente.

Como se demuestra en la tabla 4.3. la economía de la obra no se ve afectada por las dimensiones de las zanjas, ya que suponiendo una hectárea de 100 m x 100 m, el volumen de excavación es el mismo, si bien el área de ocupación es mayor cuanto menor sean el ancho y la profundidad de las

zanjas. Hecho que no hay que despreciar ya que es terreno no utilizable para el cultivo.

L (m)	10	15	20
Líneas de zanjas por ha	10	7	5
m ² de zanja por ha	500	408	354
m ³ de zanja por ha	250	250	250

Tabla 4.3.: Líneas de zanjas, m² de ocupación y m³ de excavación según los distintos espaciamientos entre zanjas.

En la ejecución de las zanjas de infiltración hay que tener en cuenta la influencia de la pendiente, así pues la profundidad de la zanja se medirá en la pared de aguas abajo para mantener la capacidad de almacenamiento de agua.

También se tendrá en cuenta que las zanjas pueden causar mortalidad en la fauna silvestre y en pequeños animales domésticos que puedan caer y quedar atrapados o ahogarse por falta de escapatoria, es por ello que en la figura 4.6. se propone un diseño de zanja de infiltración con una rampa en uno de los laterales, para facilitar la salida en caso de accidente.

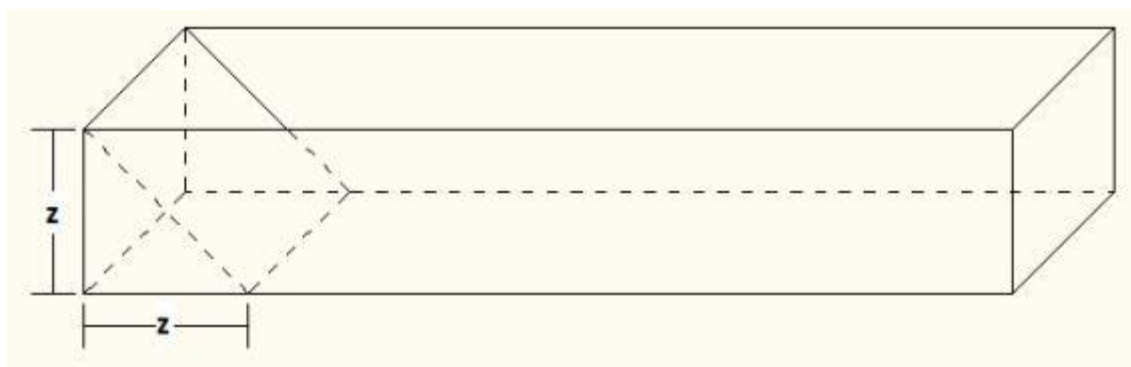


Figura 4.6.: Zanja con rampa. Fuente: *Elaboración propia.*

Teniendo en cuenta la longitud de ladera calculado para la cuenca del “Etang Pouillet” en 187 m, las zonas intervenidas con este sistema reducirían en promedio un 92% su longitud de ladera y consecuentemente sus tasas de erosión. Lo que se traduce en pérdidas de entre 10 a 16 t-ha/año para las zonas con pérdidas actuales de 125 a 200 t-ha/año respectivamente. Dichas pérdidas están en el entorno de 12,5 t-ha/año que fija como admisibles la U.S.L.E.

Albarradas

Son barreras de piedras colocadas de manera lineal en curvas de nivel y de manera perpendicular a la pendiente para retener el suelo en zonas con presencia de erosión hídrica laminar y regueros.

Debido a la retención de sedimentos que induce un cambio en la pendiente y a que cambian la longitud de la ladera, las albarradas disminuyen el factor topográfico “LS” de la U.S.L.E.



Foto 4.4.: Primer plano de una albarrada. *Fuente: Elaboración propia.*



Foto 4.5.: Vista general de un sistema de albarradas en una ladera. *Fuente: Elaboración propia.*

Las albarradas en curva de nivel deben implementarse en terrenos con evidencias de erosión hídrica. Son una alternativa a las zanjas de infiltración en aquellas laderas donde la presencia de rocas es abundante y la profundidad del suelo no es suficiente para la excavación de zanjas. Al igual que éstas disminuyen la longitud de ladera, aunque su efecto sobre la infiltración es menor.

Diseño:

Para calcular las dimensiones de la sección de las albarradas, en este caso se hace de acuerdo a los valores de sedimentos obtenidos en la U.S.L.E.

Para ello antes se definen algunos elementos que intervienen en el diseño con ayuda de la figura 4.7. que se presenta a continuación.

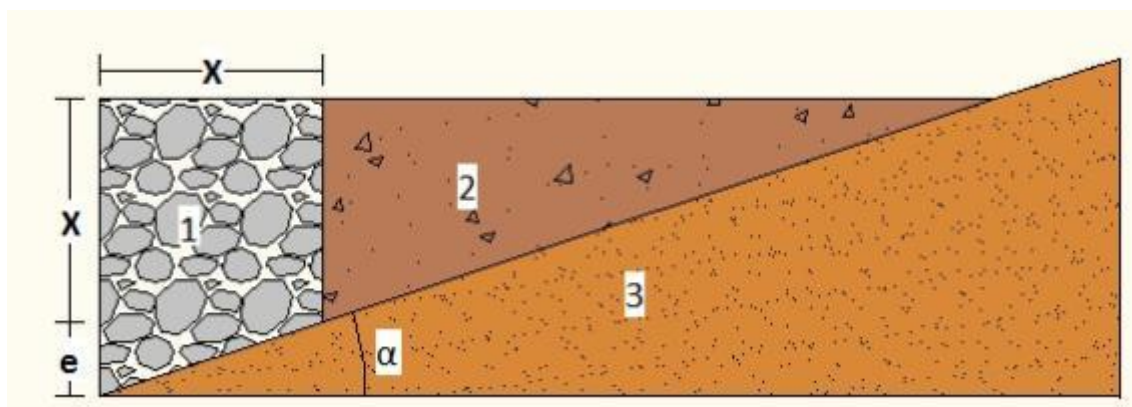


Figura 4.7.: Sección transversal de una albarrada. *Fuente: Elaboración propia.*

Donde:

X, alto y ancho de la albarrada, en m.

e, diferencia de altura entre las caras interior y exterior de la albarrada, en m.

1, sección transversal de la albarrada.

2, cuña de sedimentos.

3, ladera.

α , ángulo debido a la pendiente de la ladera.

El ángulo correspondiente a la pendiente media de la ladera (33%), es $18^{\circ}3'$.

Las tasas de erosión con las que se trabajará serán las referentes a las clases alta (50 – 200 t-ha/año) y muy alta (> 200 t-ha/año). En el primer caso se ha optado por el valor central del intervalo, 125 t-ha/año y para el segundo se fija 200 t-ha/año como valor de referencia.

Según CONAFOR (2006), las albarradas deben diseñarse para contener los sedimentos de un período de 5 años, ya que se supone tiempo suficiente para que la vegetación se regenere. Como en el caso de las zanjas de

infiltración se supone que es el 50% de los sedimentos los que alcanzan el paramento de la albarrada.

Así pues las tasas de erosión se multiplican por cinco, obteniéndose 625 y 1000 t-ha. Con la reducción del 50%, se quedan en 313 y 500 t-ha respectivamente.

Para convertir las toneladas de sedimentos en volumen, se ha usado una densidad del árido de $1,5 \text{ t/m}^3$ ya que la mayor parte de la cuenca presenta una textura franco-arenosa.

A continuación en la figura 4.8. se representan las razones trigonométricas que rigen las proporciones de la cuña de aterramiento. Esto se calcula para conocer el volumen de sedimentos y por tanto las toneladas que retendrá la albarrada.

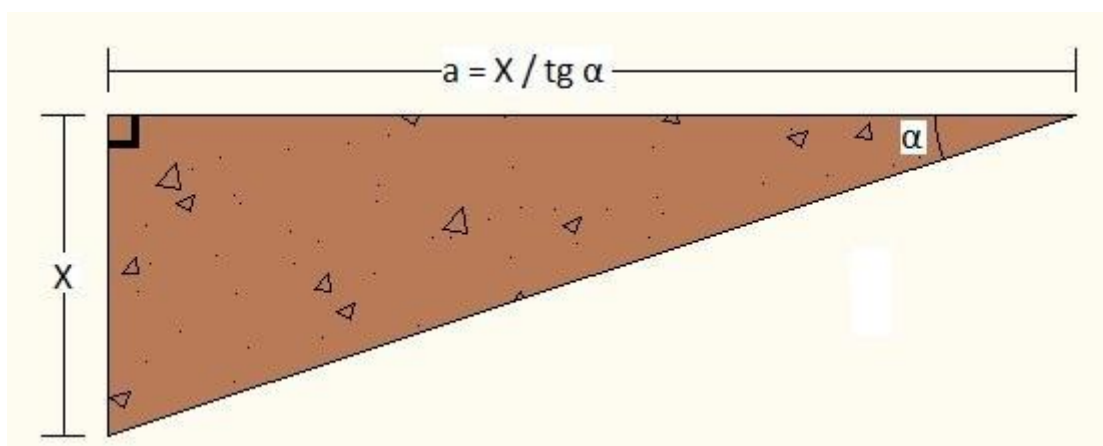


Figura 4.8.: Razones trigonométricas de la cuña de aterramiento. *Fuente: Elaboración propia.*

Con ayuda de una hoja de cálculo se dan valores a “X” y se obtienen los valores de “a” y de las toneladas por metro que se acumulan. Se probará con valores para “X” de 0’3 m, 0’4 m y 0,5 m.

En la tabla 4.4. se presentan los valores de los cálculos para las distintas dimensiones.

X	a	Vol.	t/m	m/ha		nº hileras		nº hileras 2		Dist. (m)	
(m)	(m)	(m ³)		313	500	313	500	313	500	313	500
0,3	0,9	0,14	0,2	1528	2444	15,3	24,4	16	25	6,3	4,0
0,4	1,2	0,24	0,4	859	1375	8,6	13,8	9	14	11,1	7,1
0,5	1,5	0,38	0,6	550	880	5,5	8,8	6	9	16,7	11,1

Tabla 4.4.: Distancia entre hileras según las dimensiones de las albarradas.

Dónde:

X, dimensiones de la cara interior y del ancho de la albarrada como se representa en la figura 4.7., en m.

a, recorrido de la cuña de aterramiento, función de "X", como se representa en la figura 4.8., en m.

Vol., volumen máximo de sedimentos que se retiene por metro lineal de albarrada, en m³. $\text{Vol (m}^3\text{)} = X \text{ (m)} \cdot a \text{ (m)} \cdot 1 \text{ (m)} / 2$.

t/m, son las toneladas de sedimento por metro lineal de albarrada. $t/m = \text{Vol (m}^3\text{)} \cdot 1,5 \text{ t/m} / 1 \text{ (m)}$.

m/ha, son los metros lineales de albarrada por hectárea necesarios para retener cada valor de emisión de sedimentos, dato este en color rojo.

Nº hileras, teórico para una hectárea cuadrada de 100 m x 100 m. Referidas a cada valor de emisión de sedimentos.

Nº hileras 2, como las hileras no pueden ser decimales, se redondean al entero superior. Referidas a cada valor de emisión de sedimentos.

Dist (m), distancia entre líneas de albarradas. Referidas a cada valor de emisión de sedimentos.

Visto el resultado de las distancias se recomienda una única distancia de 10 m para ambas tasas de erosión si bien en aquellas zonas donde la erosión es alta (50 – 200 t·ha/año) la dimensión de "X" será de 0,4 m y en aquellas zonas donde la erosión es muy alta (> 200 t·ha/año) la dimensión de "X" será de 0,5 m.

Se recomienda hacer una zanja de unos 10 cm de profundidad para cimentar la albarrada. Hay que tener en cuenta también el desfase "e" entre las caras de aguas arriba y de aguas debajo de la albarrada (ver figura 4.7.). Dicho desfase es función de "X" y "α", obteniéndose como:

$$e = \operatorname{tg} \alpha \cdot X$$

$$e = \operatorname{tg} 18'30'' \cdot X$$

$$X = 0,4 \text{ m} \rightarrow e = 0,15 \text{ m}$$

$$X = 0,5 \text{ m} \rightarrow e = 0,17 \text{ m}$$

Así pues las medidas definitivas de las albarradas quedan como se indica en la figura 4.9.

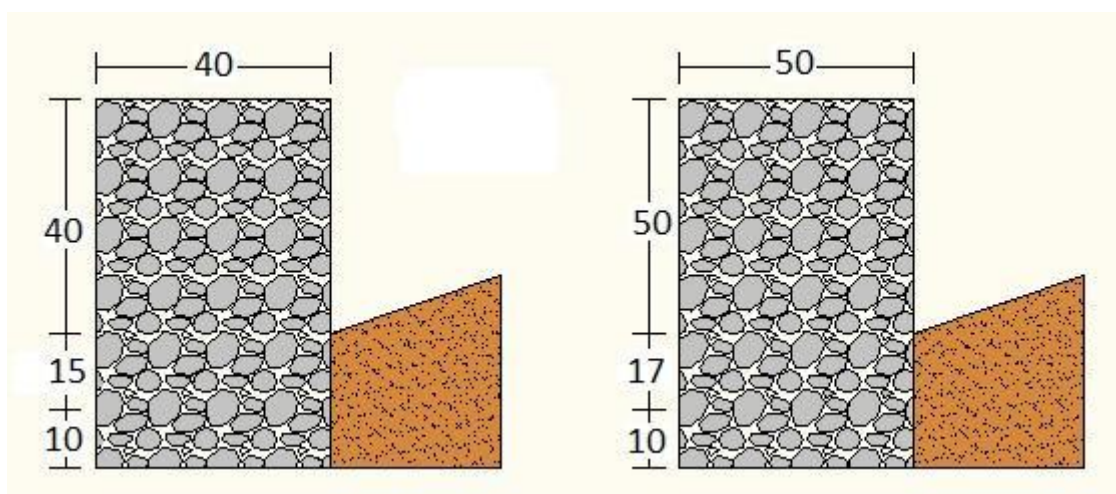


Figura 4.9. Medidas en cm descompuestas para cada ancho de albarrada.

Fuente: Elaboración propia.

Realizando el mismo cálculo que para las zanjas de infiltración, las albarradas disminuyen en casi un 95% la longitud de ladera y consecuentemente sus tasas de erosión. Lo que se traduce en pérdidas de entre 6,5 a 10 t·ha/año para las zonas con pérdidas actuales de 125 a 200 t·ha/año respectivamente. Dichas pérdidas están por debajo de las 12,5 t·ha/año que fija como admisibles la U.S.L.E.

En aquellas zonas donde las albarradas sean interceptadas por caminos se respetarán estos. Para ello se harán unos cerramientos laterales a las albarradas con una sección similar a la cuña de aterramiento y se tapizará el suelo del camino con piedras, ya que se ha observado que en ocasiones la gente desmorona las albarradas para facilitar el paso y estos huecos se convierten en sumideros por donde circulan los sedimentos y la escorrentía superficial, produciéndose en estos pasos erosión en regueros. Para facilitar la comprensión de esta puntualización, se muestran a continuación las figuras 4.10. y 4.11.

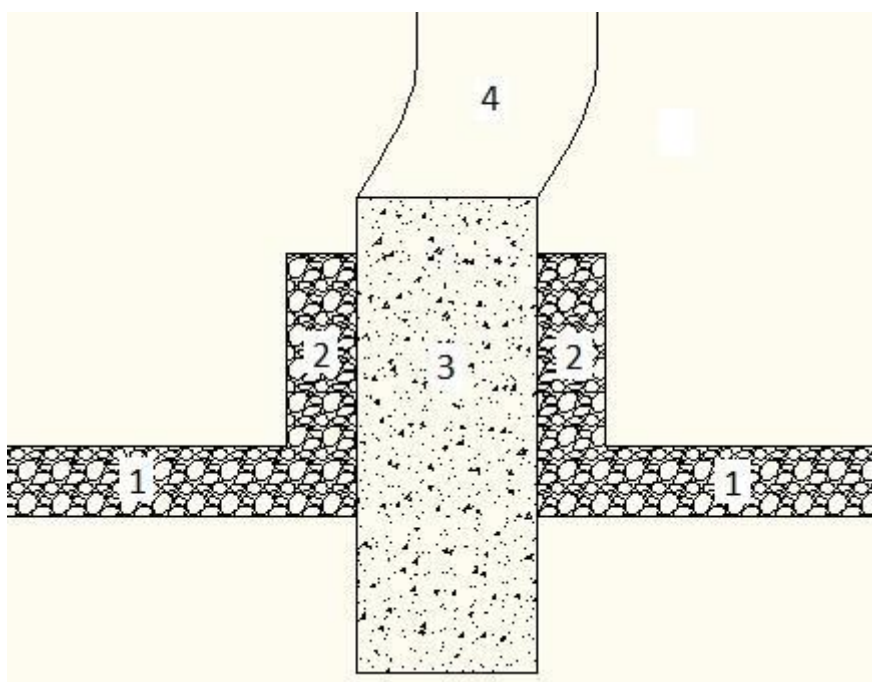


Figura 4.10.: Croquis de la intersección de un camino con una albarrada. **1:** albarradas perpendiculares a la pendiente; **2:** muros de cierre de la albarrada; **3:** sección del camino tapizada con piedras; **4:** camino. *Fuente: Elaboración propia.*

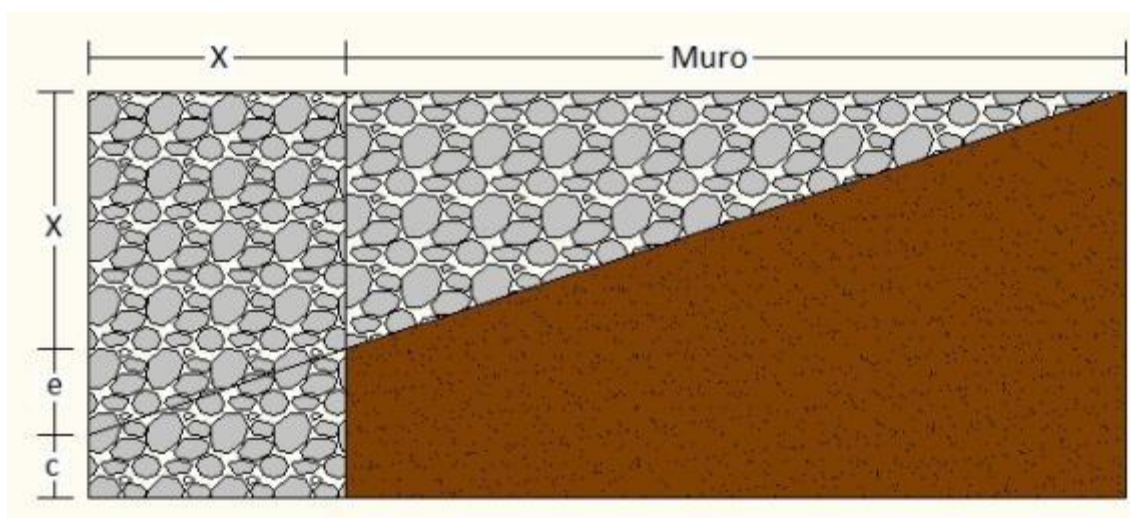


Figura 4.11. Muro de cierre de albarrada en su intersección con un camino. *Fuente: Elaboración propia.*

Como se muestra en la figura el muro de cierre de albarrada en la intersección de ésta con un camino no necesita cimentación ya que no soportará empuje de los sedimentos debido a que está colocado paralelo a la pendiente, apoya sobre la albarrada y disminuye progresivamente su altura.

Barreras vivas

Se denomina así a barreras hechas con especies vegetales siguiendo curvas de nivel. Es el mismo sistema que las albarradas pero con elementos vegetales.

Presentan todas las características de las albarradas pero se diferencian de estas en que aportan materia orgánica al suelo, generan productos adicionales como leña o pasto, mejoran el paisaje y mediante las raíces retienen el suelo impidiendo la formación de cárcavas.

Para el diseño del espaciamiento entre las hileras de barreras vivas intervienen la pendiente del terreno y la cantidad de lluvia anual. Factores relacionados mediante la siguiente fórmula:

$$IH = \frac{IV}{p} \cdot 100$$

Dónde:

IH, intervalo horizontal en m.

IV, intervalo vertical en m.

p, pendiente del terreno en %.

$$IV = \left(2 + \frac{p}{304}\right) \cdot 0'305$$

Dónde:

IV, intervalo vertical en m.

p, pendiente del terreno en %.

3, factor que se utiliza si la precipitación anual es menor a 1200 mm.

4, factor que se utiliza si la precipitación anual es mayor a 1200 mm.

0'305, factor de conversión de pies a metros.

Como la cuenca del Etang Pouillet tiene una precipitación media anual de 1799 mm, el factor que se utilizará es 4.

El valor de pendiente utilizado, es el valor medio de rango de pendientes propuesto por la FAO. Ha sido así menos en el último rango, >45%, para el que

se ha hecho un mapa de pendientes para las zonas de más de dicho valor y se ha calculado una media ponderada por la superficie, obteniéndose un valor del 66%.

Pendiente (%)		IV (m)	IH (m)
0 – 2	1	0,69	68,6
2 – 5	3,5	0,88	25,1
5 – 8	6,5	1,11	17,0
8 – 16	12	1,53	12,7
16 – 30	23	2,36	10,3
30 – 45	37,5	3,47	9,3
> 45	66	5,64	8,5

Tabla 4.5: Intervalo vertical e intervalo horizontal de espaciamiento entre hileras de barreras vivas según la pendiente.

La **especie** utilizada comúnmente en este tipo de barreras en Haití, es el vetiver (*Crysopogon zizanioides*), que si bien tiene una gran capacidad de retención de suelo debido a sus potentes raíces (de hasta 4 m) no es bien aceptada en la cuenca del “Etang Pouillet”, ya que en distintas conversaciones con los habitantes de la misma se puso de manifiesto que preferían la hierba de elefante (*Pennisetum purpureum*) ya que la utilizan como alimento para el ganado y para ellos mismos. En otros departamentos de Haití como es el caso del Sur, se han inducido efectos contrarios a los esperados con la utilización de vetiver, ya que ha sido arrancado para comercializar sus raíces ya que son olorosas y repelente natural de mosquitos.

Como especies leñosas para el aprovechamiento de leñas, se pueden introducir entre otras *Gliricidia sepium* y *Leucaena leucocephala*, ambas son leguminosas muy invasoras por lo que no se recomienda su uso salvo en los casos que los propietarios de los terrenos sean muy cuidadosos para evitar que estas especies se extiendan de forma incontrolada.

Debido a esto, en aquellos lugares donde se vayan a utilizar barreras vivas se aconseja el uso de hierba de elefante (*Pennisetum purpureum*) con una distancia entre plantas de unos 30 cm.

Reforestación

La reforestación se dará en aquellos terrenos con pendientes iguales o superiores al 50%, además de que así lo obliga el Código Rural Haitiano en la Ley de 24 de mayo de 1962 es una de las técnicas más efectivas en terrenos de gran pendiente, ya que otras técnicas como las zanjas de infiltración o las albarradas, necesitarían de espaciamientos muy pequeños para que fuesen de utilidad.

La especie elegida para la reforestación es el *Pinus occidentalis*, especie climática y autóctona, además cuenta a su favor que en la zona hay experiencia en su cultivo en vivero y posterior plantación para reforestación. La utilización de esta especie se hará sin perjuicio de los intereses de los propietarios particulares que en su caso, podrán elegir aquellas especies de frutales que les interesen y cuyo crecimiento sea más o menos rápido para conseguir una protección efectiva del suelo. Además de especies de frutales se pueden plantar especies leñosas de crecimiento rápido y aprovechamiento en monte bajo, como son las ya mencionadas *G. sepium* y *L. leucocephala*.

Debido a que son repoblaciones protectoras, se recomienda un **marco de plantación** de 2 m x 2 m. Esto da un total de 2500 pies/ha.

Se ha observado en numerosas ocasiones en reforestaciones en Haití, que las bolsas de plástico que hacen de contenedor para la producción de plántulas, no se retiran en el momento de la plantación, lo que compromete el desarrollo de las raíces. Así que siempre se retirarán dichas bolsas durante la ejecución de la repoblación.

Según lo observado en intervenciones similares y debido a la alta pendiente sobre la que se harán las reforestaciones y a las características de la zona, el ahoyado será manual. Los agujeros tendrán unas dimensiones aproximadas de 20 cm de diámetro por 20 cm de profundidad.

Para determinar las zonas de reforestación, se ha realizado un mapa de las zonas con pendiente igual o mayor al 50%, se han delimitado los contornos y se han eliminado aquellos que debido a su escasa entidad no harían lógico ni rentable su reforestación.

Las zonas destinadas a la reforestación quedarán estrictamente acotadas al pastoreo el tiempo que sea necesario para que el ganado no comprometa el desarrollo de las plantas.

Manejo de cultivos

Una de las principales causas de tasas altas de erosión son los cultivos, ya que durante algunas fases de los mismos la tierra se encuentra expuesta a la lluvia sin ningún tipo de protección. Según García-Chevesich, P (2008) los suelos cultivados pueden llegar a multiplicar su erosión por 200 respecto a sus valores naturales.

Sobre el manejo de cultivos, el Código Rural Haitiano en la Ley de 24 de mayo de 1962, dice que se prohíbe el barbecho blanco o desnudo y que en todo caso las tierras deben cultivarse según curva de nivel.

Según la distribución mensual del factor R de la U.S.L.E., que se muestra en la tabla 3.2. del capítulo anterior, los meses de mayo a octubre son los de mayor erosividad de la lluvia y por tanto con mayor capacidad erosiva, con lo que será en estos meses en los que se tenga un especial cuidado en que la tierra no se quede al descubierto.

La implementación de **sistemas agroforestales**, es una buena solución a la desprotección que induce la agricultura tradicional de especies anuales. En la zona de estudio existe un sistema agroforestal que durante la evaluación de la U.S.L.E. realizada en el capítulo anterior, dio tasas de hasta 6 veces menor erosión a igualdad de los demás factores. Este consiste en el cultivo de café de sombra, donde el café se cultiva bajo un dosel de cítricos, bananos y frutales.

A continuación se presenta un resumen de las técnicas que se pueden realizar para un manejo adecuado de cultivos que propicie una disminución de las tasas de erosión.

- Cultivo según curvas de nivel.
- Dejar residuos vegetales sobre el suelo tras la cosecha.
- Promoción de sistemas agroforestales.
- Adaptar la fenología de los cultivos de tal manera que en los meses de mayor agresividad pluvial, el suelo se encuentre bien protegido por los cultivos o por los residuos vegetales.
- Intercalar zanjas de infiltración, albarradas y barreras vivas entre parcelas e incluso dentro de las parcelas si estas poseen una longitud de ladera que haga razonable la instalación de dichas actuaciones.

4.2.2. En cauces

Las actuaciones en cauces en Haití tienen una gran popularidad ya que muchos proyectos promovidos y/o financiados por la cooperación internacional y por los distintos ministerios que intervienen en el medio rural tienen una componente de manejo de cauces. Sin embargo como se ha podido observar sobre el terreno muchas veces se planifican y ejecutan mal, con lo que el trabajo y el dinero se pierden.

Objetivos:

- Control de la erosión hídrica en cauces.
- Reducción de la velocidad de escorrentía.
- Retención de sedimentos.
- Aumento de la infiltración.
- Protección de infraestructuras civiles.
- Estabilización del lecho en cauces.

4.2.2.1. Tipos de actuaciones

Presas de piedra

Son muros de pequeñas dimensiones colocados transversalmente al eje de un cauce o ravina. La unión de las piedras es simplemente por gravedad y por rozamiento sin existir ningún elemento adicional de cohesión. De gran utilidad en aquellos tramos donde la pendiente sea inferior al 35 %.

Antes de hablar del diseño y la ejecución de las presas de piedra, se presenta en la figura 4.13. una sección transversal y en la figura 4.14. una vista frontal de una presa de piedra, donde se definen los elementos que las componen.

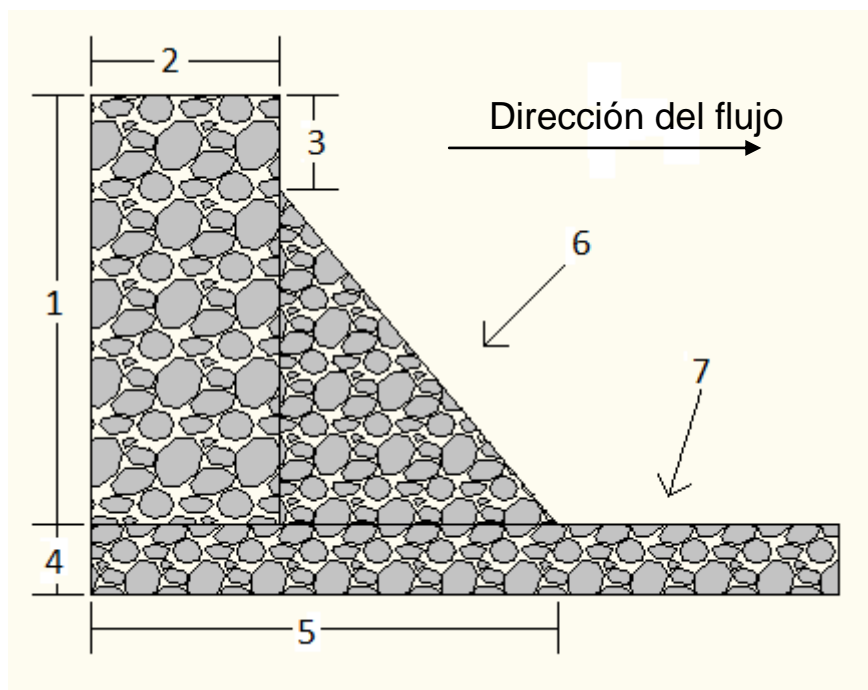


Figura 4.13.: Sección transversal de una presa de piedra. *Fuente: Elaboración propia.*

Donde: 1: Muro principal; 2: Corona; 3: Vertedero; 4: Cimentación; 5: Base de la presa; 6: Talud; 7: Delantal.

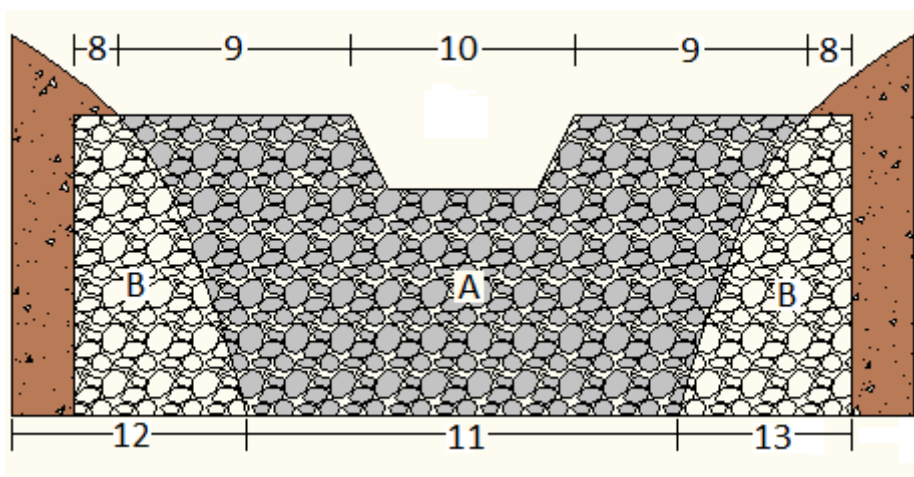


Figura 4.14.: Vista frontal de una presa de piedra. *Fuente: Elaboración propia.*

Donde: A: Muro principal; B: Estribos empotrados en la ladera; 8: Parte del ala empotrada; 9: Ala; 10: Vertedero; 11: Cauce; 12: Ladera; 13: Base empotrada del estribo en la ladera.

Diseño:

Estas obras normalmente no deben sobrepasar en ningún caso los 2 m de altura total y se ubicarán preferentemente en sitios no más anchos de 4m. La altura efectiva o altura al borde inferior del vertedero, no debe sobrepasar la altura del talud, de tal forma que la primera sea suficientemente menor que la segunda y así no se produzcan desbordamientos laterales.

Las piedras deben acomodarse unas sobre otras de forma que se garantice su estabilidad.

- Cimentación (4): Se debe excavar una zanja en el fondo y partes laterales de la cárcava. La profundidad se recomienda que sea un tercio de la altura de la presa y el ancho ligeramente mayor que el ancho de la misma.

- Muro principal (A): La construcción de éste consiste en el acomodo de piedras para formar una barrera. Si las piedras son planas, se colocan unas sobre otras para formar una barrera con paredes rectas y estables. Si las piedras son romas, se colocará la parte de más peso hacia abajo. En todo caso, se usarán las piedras más grandes posibles. Debe procurarse que no queden espacios entre las piedras y que sean rellenados con piedras pequeñas. En promedio medirán entre 1,2 y 2 m de altura total (1).

- Vertedero (10): Es un hueco de sección trapezoidal normalmente en el centro del muro que sirve para permitir el paso del agua. La altura del mismo (3) será en torno a un 30% de la altura total del muro principal y la longitud (10) entre un 20 y un 30%. Para la formación del trapecio se dará un ángulo de 14° que facilitará la compresión lateral del flujo.

- Talud (6): Se forma aguas abajo del muro principal, con el fin de disipar la energía del agua que sale por el vertedero y de dar mayor estabilidad a la estructura ante la fuerza de las corrientes que impactan sobre la presa. Especialmente importante en aquellas presas que se encuentren en cabecera. Se puede formar un talud aguas arriba, pero se ha observado que con un único talud aguas abajo las presas funcionan adecuadamente y se reducen costos.

- Delantal (7): Se sitúa aguas abajo del talud y sirve para evitar la erosión hídrica provocada por la caída del agua. Si no se hace esto, la erosión remontante debido a la formación de la pendiente de compensación, acabará por socavar el muro principal y desmoronar la obra.

- Corona (2): Tras observaciones en campo y contraste de opiniones con otros técnicos, se ha decidido que la anchura de coronación se fija en referencia a la relación $Y = 0,1X + 0,4$ m. Donde "Y" es la anchura de

coronación (2) en metros y “X” es la altura efectiva del muro principal (1) – (3) en metros.

- Estribos empotrados (B): Es muy importante que los estribos queden bien empotrados en la ladera, ya que si no, el agua circulará entre estos y la ladera provocando un socavamiento de ésta y consecuente ruina de la obra.

- Espaciamiento entre presas (E): Se calcula de acuerdo a la altura efectiva de la presa y la pendiente de la ravina.

$$E = \frac{H}{p} \cdot 100$$

Donde:

E, espaciamento entre presas en m.

H, altura efectiva de la presa (altura hasta el inicio del vertedero) en m.

p, pendiente de la ravina.

A continuación se presenta la tabla 4.6. donde se dan unos valores de referencia según la pendiente del cauce para presas de 1,5 m de altura efectiva.

Pendiente (%)		E (m)
0 - 2	1	150
2 - 5	3,5	43
5 - 8	6,5	23
8 - 16	12	13
16 - 30	23	7
30 - 35	32,5	5

Tabla 4.6.: Espaciamento de referencia entre presas de piedra de 1,5 m de altura efectiva.

Sin perjuicio de los valores aportados en la tabla 4.6. se construirán las presas de piedras en aquellos lugares donde la ravina se estreche y sea más viable su estabilidad, por ejemplo apoyadas aguas arriba de grandes piedras existentes en las márgenes.

Presas de sacos

Son barreras de sacos rellenos de tierra que se colocan transversalmente al flujo de la corriente. Son presas homólogas a las de piedra con alguna diferencia de aplicación y diseño. Se utilizarán en aquellos lugares donde el uso de piedras presente dificultades, por escasez o imposibilidad de transporte. Se preferirán las presas de piedras ya que los sacos son un material que se degrada rápidamente, más aún bajo la rigurosidad del clima tropical.

Al igual que las presas de piedra se recomienda su uso en pendientes inferiores al 35% pero no se instalarán en ravinas de más de 1 m de alto. En ravinas con pendientes entre el 10% y el 35%, se construirá una zanja de 1 m de ancho por 0,4 m de profundidad en forma transversal a la ravina, para insertar la primera fila de sacos.

Para dotar a la estructura de mayor estabilidad, se pueden clavar aguas abajo de la estructura estacas como se ve en la figura 4.15. modificada de CONAFOR (2006).

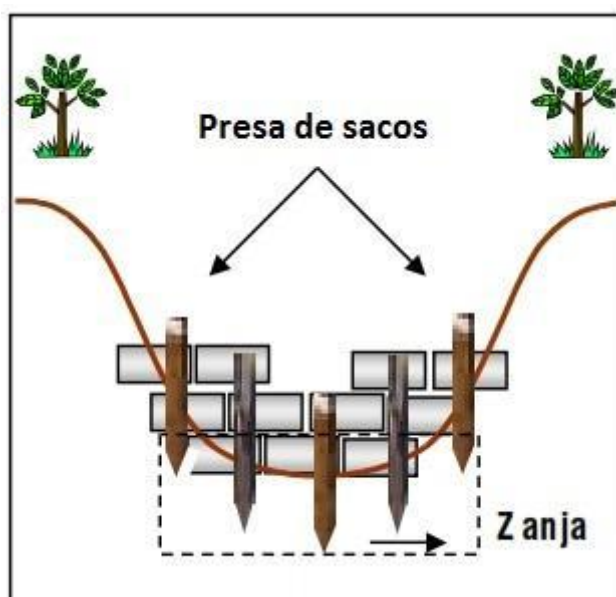


Figura 4.15.: Presa de sacos, estacas y zanja. *Fuente: Modificado de CONAFOR 2006.*

Los elementos de **diseño** son los mismos que en las presas de piedras salvo que las presas de sacos no deben superar la altura total de 1m, así pues tendrán una altura efectiva de unos 0,7 a 0,8 m.

Normalmente el ancho del muro principal será de dos sacos colocados perpendicularmente al cauce.

Como en el caso de las presas de piedras es necesaria la construcción de un delantal hecho de sacos como se ve en la figura 4.16., modificada de CONAFOR (2006).

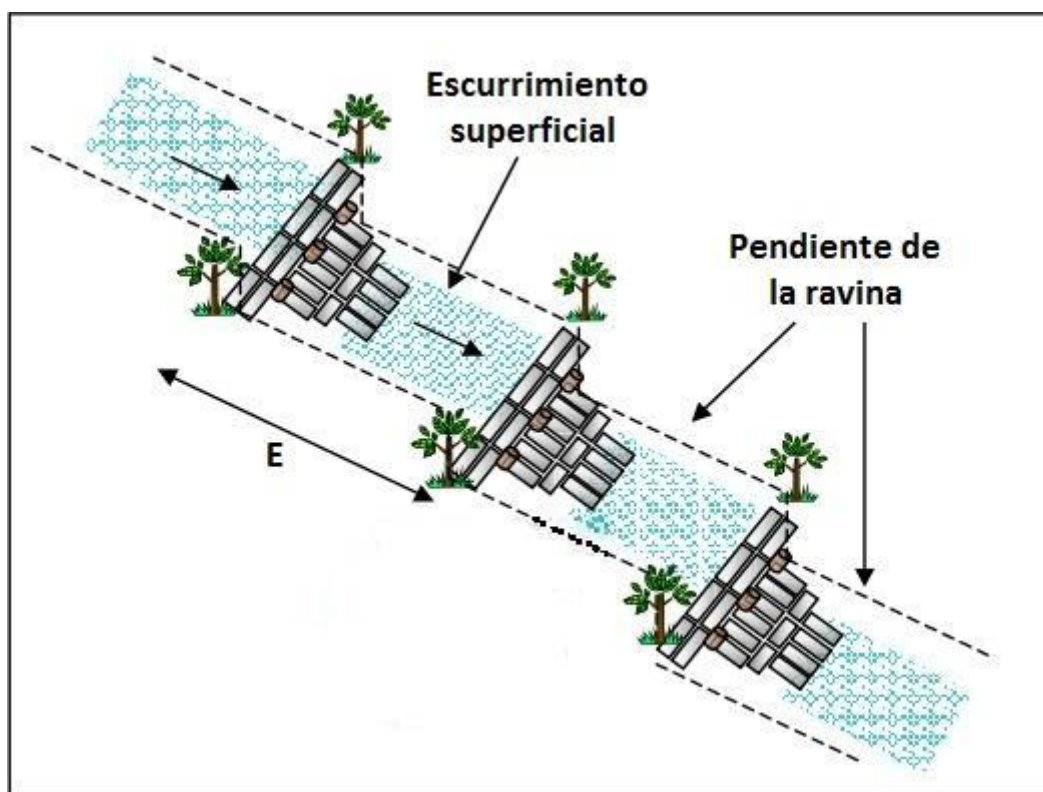


Figura 4.16.: Disposición de una serie de presas de sacos a lo largo de una ravina. Nótese la implementación del delantal. *Fuente: Modificación de CONAFOR 2006.*

La fórmula para el **espaciamiento** es la misma que en el caso de las presas de piedras. En la tabla 4.7. se presentan unos valores de referencia para presas de sacos, con altura efectiva de 0,8 m.

Pendiente (%)		E (m)
0 - 2	1	80
2 - 5	3,5	23
5 - 8	6,5	12
8 - 16	12	7
16 - 30	23	3
30 - 35	32,5	2

Tabla 4.7.: Espaciamiento de referencia entre presas de sacos de 0,8 m de altura efectiva.

Presas de Gaviones

Los gaviones son cajas de forma prismática rectangular de malla de alambre que se rellenan de piedras. Por su alto coste, se recomiendan en ravinatas y cárcavas mayores a los 2 m de ancho y los 1,5 m de profundidad. En general se usarán para cárcavas de más de 4 m de ancho, ya que para anchos inferiores se puede optar por la utilización de presas de piedras, mucho más económicas

Al igual que en las presas de piedras, la altura efectiva debe ser lo suficientemente inferior a la altura del talud, como para que el desagüe se produzca sólo por el vertedero y no se desborden los laterales.

A continuación se presentan las figuras 4.17. y 4.18. donde se definen los elementos de las presas de gaviones.

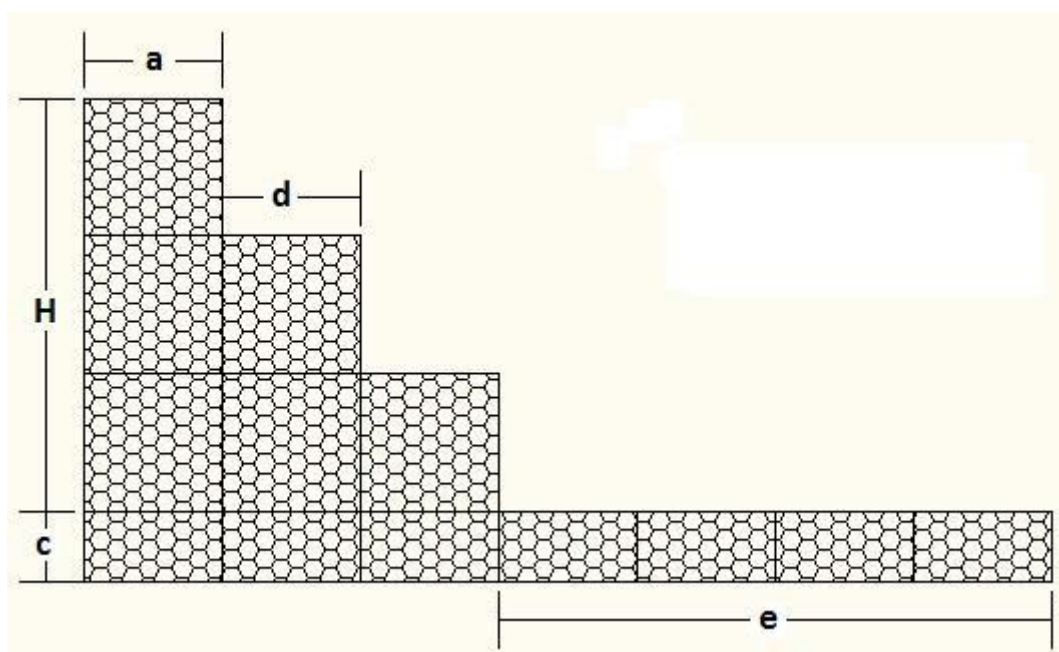


Figura 4.17.: Sección transversal de una presa de gaviones. *Fuente: Elaboración propia.*

Donde: **a:** espesor en coronación; **d:** anchura de la huella; **H:** altura del umbral del vertedero; **c:** espesor de la cimentación; **e:** delantal.

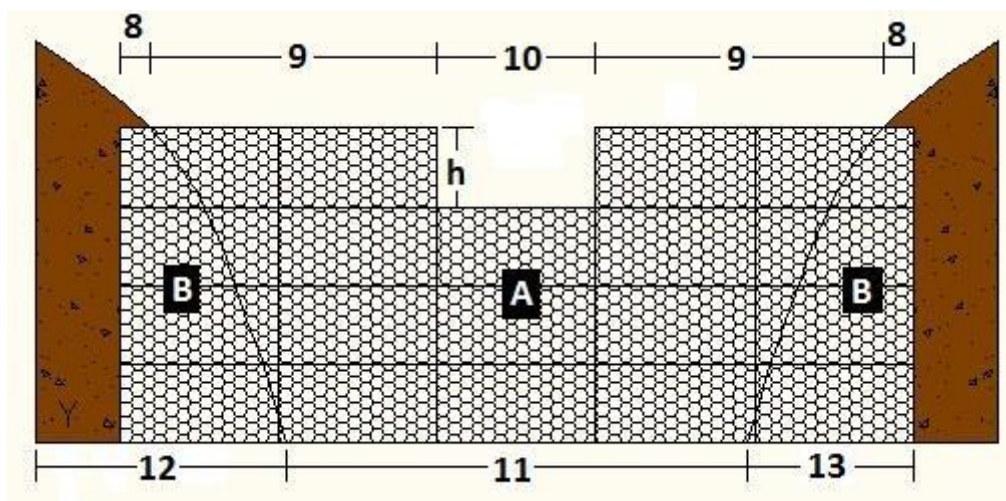


Figura 4.18.: Vista frontal de una presa de gaviones. *Fuente: Elaboración propia.*

Donde: **A:** Muro principal; **B:** Estribos empotrados en la ladera; **h:** altura del vertedero; **8:** Parte del ala empotrada; **9:** Ala; **10:** Vertedero; **11:** Cauce; **12:** Ladera; **13:** Base empotrada del estribo en la ladera.

Diseño:

Para el correcto diseño de las presas de gaviones se debe disponer de los perfiles de las ravinadas o cárcavas donde se van a construir, así pues en este apartado se dan valores de referencia que deben ser ajustados para cada caso particular.

- Cimentación (c): Se debe excavar una zanja en el fondo y partes laterales de la cárcava. Para presas de más de 3 m se debe excavar hasta encontrar roca madre o si el suelo es muy profundo hasta la profundidad de 1 m. La profundidad se recomienda que sea un tercio de la altura de la presa y el ancho ligeramente mayor que el ancho de la misma.
- Muro principal (A): La construcción de éste consiste en la superposición de gaviones hasta alcanzar la altura total (H). Los gaviones se montarán y unirán entre ellos como se indica en la figura 4.21. al final de este apartado.
- Vertedero (10): Es un hueco de sección cuadrangular, normalmente en el centro del muro que sirve para permitir el paso del agua. Debe ser de un ancho menor que la ravina o cárcava donde se asiente la obra.

La altura del mismo (h) responde a la fórmula:

$$h = h_{ag} + h_{rs}$$

$$h_{ag} = \sqrt[3]{\frac{Q_d^2}{g \cdot L^2}}$$

Donde:

h_{ag} , altura del agua por el vertedero.

h_{rs} , es la altura de resguardo o seguridad, entre 0,2 y 0,4m

Q_d , caudal de diseño, en m^3/s .

$g = 9,81 m/s^2$

L, largo del vertedero, en m.

Para el diseño de un vertedero tipo para la cuenca del “Etang Pouillet”, se ha considerado un largo del vertedero (L) de 1,5 m, ya que debe ser menor que el ancho del cauce. Se han utilizado unos caudales de diseño que corresponden al 50%, 30% y 20% de los caudales calculados en el apartado “4.1. Caudales líquidos”. La razón de esta reducción es que el caudal calculado en dicho apartado es para toda la cuenca y las presas de gaviones se van a situar en la parte alta de la cuenca ya que es allí donde las ravinas son más profundas y existen las cárcavas. A continuación se presenta la tabla 4.8. extracto de la tabla 4.1. donde se reflejan los caudales calculados originalmente. Los caudales correspondientes al 50%, 30% y 20% de éstos se presentan junto al resto de los cálculos en la tabla 4.9.

Modelo	SCS	Precipitation Gages	Fórmula IAHS
Caudal punta (m^3/s)	134´1	110´3	250´5
Período de retorno (años)	Desconocido	Desconocido	200

Tabla 4.8.: Caudales punta para la cuenca del “Etang Pouillet”.

Q (m^3/s) (original)		Q _d (m^3/s) (% del original)			h _{ag} (m)		
		50%	30%	20%	(1)	(2)	(3)
P. gages	110,3	55,15	33,09	22,06	1,4	1,1	1,0
SCS	134,1	67,05	40,23	26,82	1,4	1,2	1,1
Fórmula IAHS	250,5	125,25	75,15	50,1	1,8	1,5	1,3
Promedio					1,3		

Tabla 4.9.: Valores de h_{ag} según los distintos caudales de diseño.

En la tabla 4.9. las columnas (1), (2) y (3) corresponden a las alturas del agua por el vertedero (h_{ag}) correspondiente al 50%, 30% y 20% del caudal original respectivamente. Se obtiene una h_{ag} promedio de 1,3 m. Añadiéndole la altura de resguardo (h_{rs}), se fija la altura del vertedero tipo (h) en 1,5 m.

En la figura 4.19. se observa una representación de un vertedero tipo, donde: L : 1,5 m; h_{ag} : 1,5 m; h_{rs} : 0,2 m; a : 1 m.

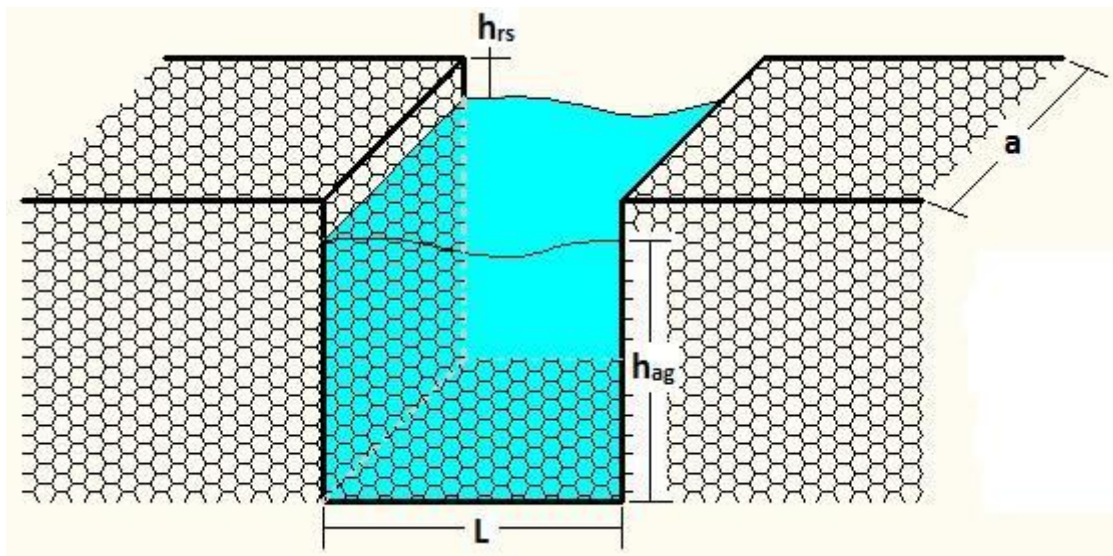


Figura 4.19.: Vertedero tipo en presa de gaviones. Fuente: *Elaboración propia*.

- Anchura de la huella (d): Se denomina así al ancho sobresaliente entre hiladas, ver figura 4.17. Para presas de gaviones de hasta 8 m, está tabulado en función de la altura (H) y el espesor en coronación (a) como se muestra en la tabla 4.10.

a (m)	1						
H (m)	2	3	4	5	6	7	8
d (m)	1,0		1,5				

Tabla 4.10: Anchura de la huella (d) en función del espesor de coronación (a) y la altura (H). Todas las medidas en m.

- Delantal (e): Se sitúa aguas abajo y sirve para evitar la erosión hídrica provocada por la caída del agua. Si no se hace esto, la erosión remontante debido a la formación de la pendiente de compensación, acabará por socavar el muro principal y desmoronar la obra. Su longitud será 1/3 de la altura de la presa. La transición entre el delantal y el terreno será suave, sin escalones.

- Estribos empotrados (B): Es muy importante que los estribos queden bien empotrados en la ladera, ya que si no, el agua circulará entre estos y la ladera provocando un socavamiento de ésta y provocará la ruina de la obra. Los empotramientos de los estribos en las laderas serán entre 0,5 y 1 m.

- Espaciamiento entre presas (E): Según recomienda CONAFOR (2006), si se trata de presas de gaviones para la estabilización de ravineros o

cárcavas, se colocarán según el criterio de “doble espaciamiento”, como se muestra en la figura 4.20.

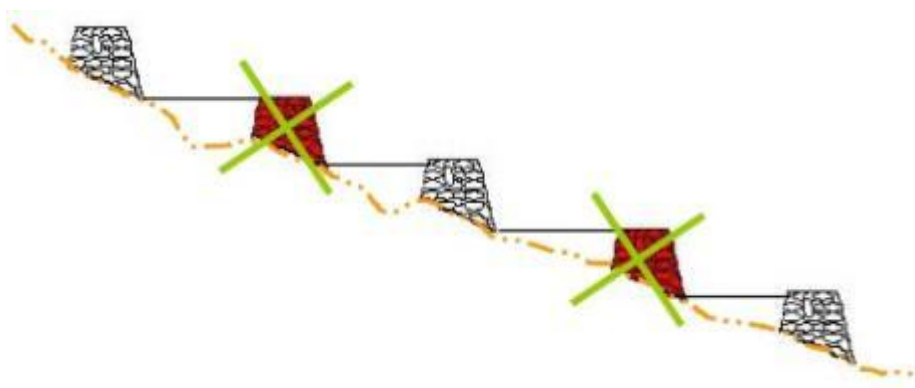


Figura 4.20.: Criterio de doble espaciamiento entre presas de gaviones. *Fuente: Modificado de CONAFOR (2006).*

La fórmula es la misma que la utilizada en el cálculo del espaciamiento entre presas de piedras.

$$E = \frac{H}{p} \cdot 100$$

Donde:

E, espaciamiento entre presas en m.

H, altura efectiva de la presa (altura hasta el inicio del vertedero) en m.

p, pendiente de la ravina o de la cárcava.

La colocación de las piedras debe hacerse de tal manera que la cara más lisa de las piedras más grandes quede pegando contra la malla de alambre, los huecos entre piedras grandes se rellenaran convenientemente con piedras más pequeñas. Esto es importante porque si no la fuerza ejercida por el agua puede provocar una deformación de la estructura tal que inutilice la obra.

Como se apuntaba al principio del apartado, debido a su alto coste, las presas de gaviones se utilizarán en ravinas que cumplan alguna de las siguientes características, si no, se utilizarán presas de piedras o de sacos:

- Ancho > 4m.
- Alto > 1,5 m.
- Pendiente > 35%.

Como colocar los Gaviones Caja

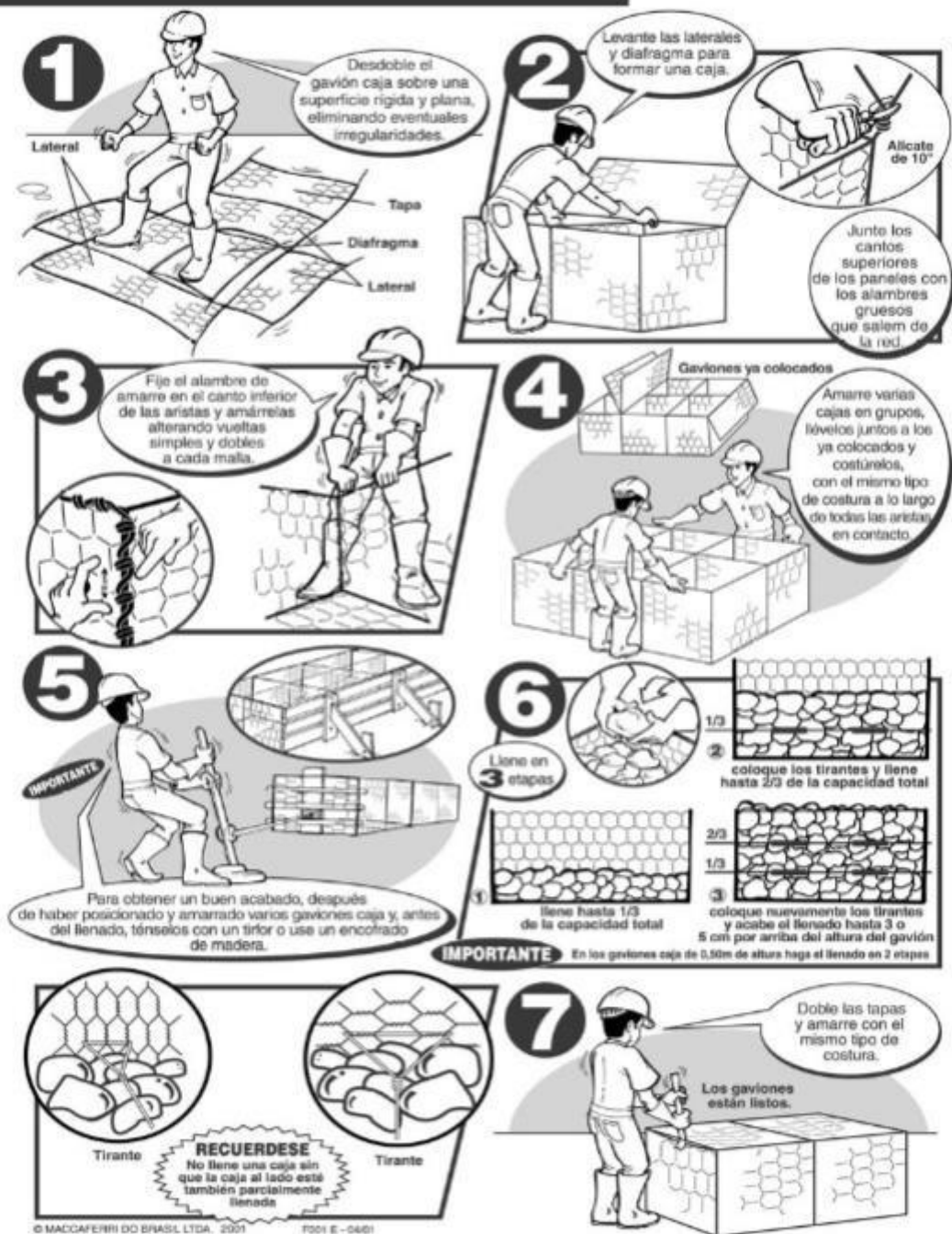
MACCAFERRI


Ilustración 1. Manual de montaje de gaviones. Fuente: (Maccaferri Brasil, 2001)

Figura 4.21.: Montaje y unión de los gaviones.

Revegetación de riberas

Esta técnica consiste en impedir la erosión de las márgenes de las ravinatas mediante la sujeción que hacen las raíces de las plantas de la tierra. Desde el punto de vista hidráulico, la vegetación en la ribera, aumenta la rugosidad, parámetro estimado con la “n” de Manning. Al aumentar la rugosidad, disminuye la velocidad del flujo y por tanto la su capacidad erosiva.

A este respecto, el Código Rural Haitiano en la Ley de 24 de mayo de 1962, establece que los propietarios, agricultores u ocupantes de tierras adyacentes a ravinatas, ríos o manantiales, deben revegetar el terreno de su parcela adyacente al curso de agua en un ancho entre 5 y 15 m, dependiendo de la entidad del cauce, a lo largo de las dos orillas. En cumplimiento de la ley pero sin querer interferir en demasía con los intereses de los habitantes de la cuenca, se propone un ancho de 7 m.

La ley indica que se utilizará bambú o cualquier otra especie adecuada, pero no habla de marcos de plantación. Según lo observado sobre el terreno en obras de este tipo, un marco de plantación bastante utilizado es el de 1 m x 1 m. Así pues, se tiene una densidad de 7 plantas cada metro lineal de cauce y orilla y en total hay 7741 m de cauces.

Nº de plantas: 14 plantas/m · 7741 m = 108374 plantas.

Del mismo modo que en la reforestación, en las zonas destinadas a la revegetación de riberas se deberá controlar el pastoreo el tiempo que sea necesario para que el ganado no comprometa el desarrollo de las plantas.

Como alternativa al bambú (*Bambusa vulgaris*) y para no perder rentabilidad económica, en aquellas riberas adyacentes a tierras de cultivo se propone la utilización de las siguientes especies:

- *Psidium guajava*: es un pequeño árbol frutal, el guayabo.
- *Jatropha curcas*: las semillas contienen un aceite que se puede usar directamente en lámparas o se puede transformar en biodiesel por lo que numerosas multinacionales realizan estudios y plantaciones piloto en zonas tropicales. El aceite y la savia poseen propiedades antitumorales y la infusión de las hojas es antipirética.
- *Leucaena leucocephala* y *Glycirdia sepium* son árboles de crecimiento rápido que se aprovechan en monte bajo con fines energéticos. Tremendamente invasivas, es necesario un buen control de la fructificación.

4.2.3. Control de cárcavas

En la cuenca del “Etang Pouillet” se diferencian dos tipos de cárcavas según su origen. Un tipo son aquellas que van asociadas a un curso de agua en el cual los taludes se han ido socavando. Se encuentran en las cabeceras de las ravines, como es el caso de las cárcavas en la cabecera de la ravina “Pierre Charles”. Otro tipo son cárcavas que comenzaron con la formación de regueros en las laderas y que se han ahondando. Estas se localizan en una zona entre los 1500 m y los 1580 m a unos 200 m al oeste de la ravina “Pierre Chrales”.

La foto 4.6. que se muestra en la página siguiente, se ha obtenido de Google Earth, en ella se encuentra superpuestas las curvas de nivel, se aprecian las de 1500 m y 1600 m entre otras y la línea roja de la derecha, corresponde con el límite oriental de la cuenca. Puede observarse las dos zonas mencionadas, la zona “A” es la que corresponde a las cárcavas en la ravina “Pierre Charles” y la zona “B” es la que corresponde a las cárcavas en ladera.

Las flechas verdes corresponden a fotos realizadas sobre el terreno, que se incluyen en páginas siguientes. La flecha “C”, es la foto 4.7. que se encuentra en la cabecera de la ravina “Pierre Charles”, la flecha “D” corresponde a la foto 4.8. que está tomada en el tercio inferior de la rama oriental de la ravine “Pierre Charles. La flecha “E” es la foto 4.9. que corresponde a la zona de cárcavas en ladera.

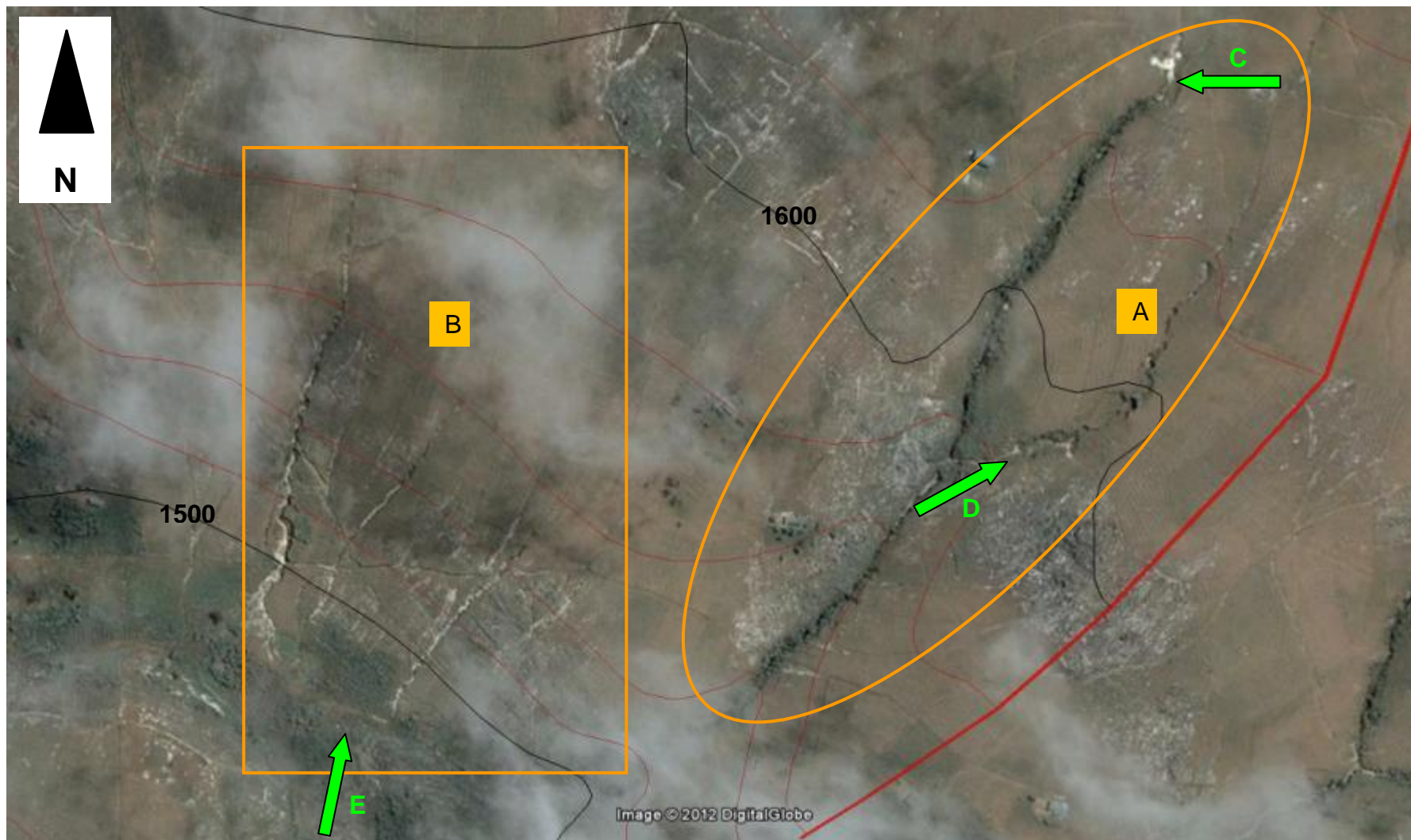


Foto 4.6.: Zonas de cárcavas en la cuenca del “Etang Pouillet”. *Fuente: Elaboración propia.*



Foto 4.7.: Cárcava en la cabecera de la ravina “Pierre Charles”. *Fuente: Elaboración propia.*



Foto 4.8.: Cárcava en la ravina “Pierre Charles”. *Fuente: Elaboración propia.*



Foto 4.9.: Cárcavas en la zona de ladera. Nótese a efectos de escala, una persona adulta señalada por el círculo verde. *Fuente: Elaboración propia.*

A continuación se enumeran los objetivos de las actuaciones propuestas en las zonas de cárcavas.

Objetivos:

- Frenado de la erosión remontante y lateral en las cárcavas.
- Estabilización de los taludes.
- Reducción del riesgo por deslizamiento de taludes.
- Disminución de la velocidad del agua.
- Retención de sedimentos.

Las actuaciones propuestas a continuación, deben ejecutarse de forma conjunta, ya que ninguna por si sola resolvería mínimamente el avance de las cárcavas.

4.2.3.1. Tipos de actuaciones

Desmonte de taludes

El desmonte de taludes consiste en disminuir la pendiente del talud de las cárcavas con el fin de permitir la instalación de la vegetación o su recubrimiento de piedras. En la figura 4.22. se representan aquellos elementos que intervienen en el afine de taludes.

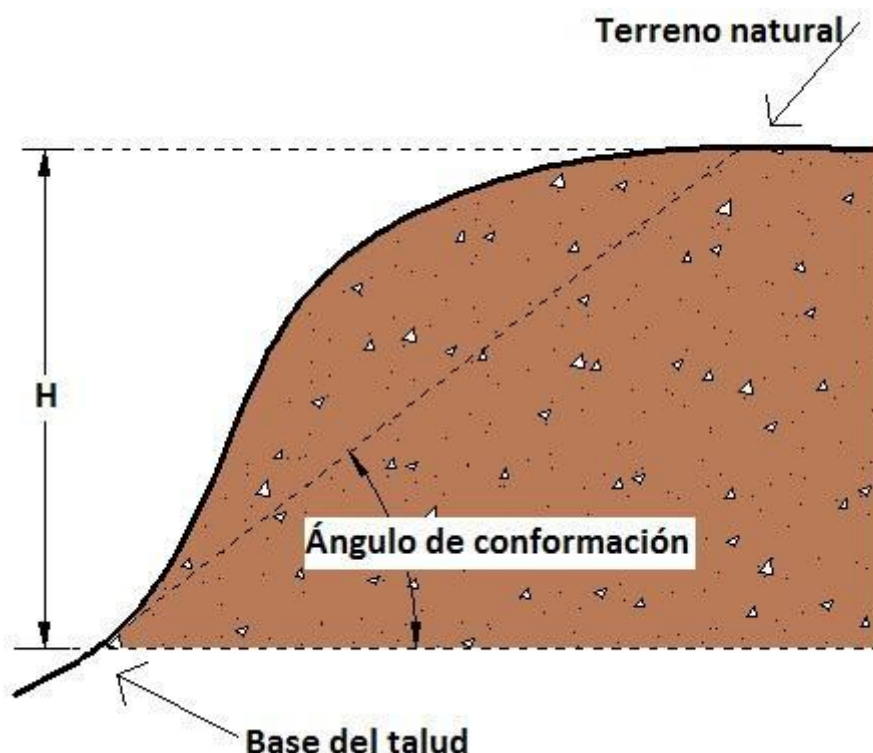


Figura 4.22.: Afine de taludes. Fuente: *Elaboración propia*.

Dependiendo de la altura de la cárcava (H), existen dos opciones, si es menor de 2 m, se procederá la desmonte en rampa, si es mayor de 2 metros, se preferirá un desmonte escalonado.

Desmonte en rampa: se ejecutará con un ángulo de conformación aproximado de 25° a 45° . O lo que es lo mismo una relación base/altura de 2/1 a 1/1. Así pues el volumen de excavación es mayor en el primer caso que en el segundo pero por el contrario la pendiente es mucho más suave como se ve en la figura 4.23.

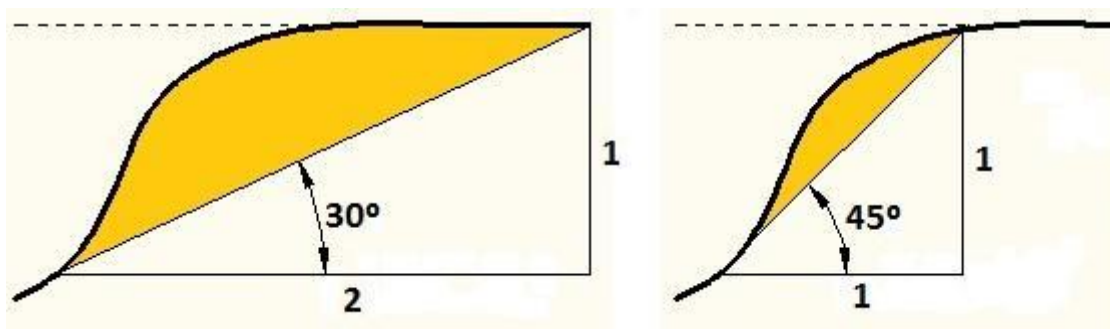


Figura 4.23.: Desmonte en rampa. *Fuente: Elaboración propia.*

Desmonte escalonado: consiste en hacer escalones en el perfil del talud. Se recomienda en cárcavas con alturas superiores a 2 m, ya que se reduce la longitud del talud resultante con la consecuente disminución de la ocupación de la ladera. Es una técnica análoga al aterrazado de laderas. Los escalones se pueden ejecutar con una relación base altura de 1/1 como se ven en la figura 4.24.

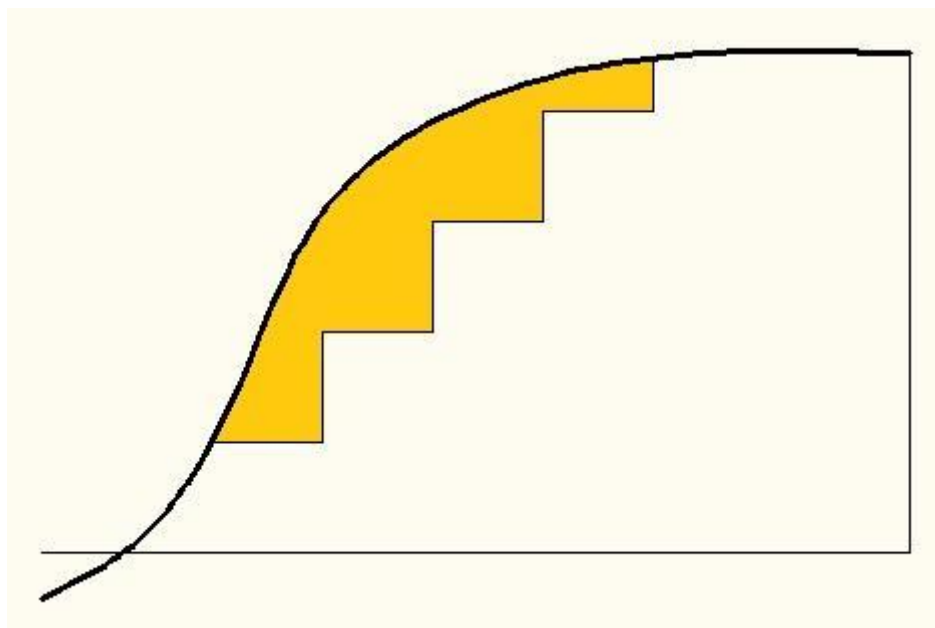


Figura 4.24.: Desmonte escalonado. *Fuente: Elaboración propia.*

En ambos tipos de desmontes, se procederá a la revegetación de los taludes excavados del mismo modo y con las mismas especies que se proponen en la revegetación de riberas.

Cabeceo de cárcavas

Consiste en el recubrimiento con material vegetal muerto o con piedras de la parte inicial de una cárcava para amortiguar la energía de caída de la escorrentía y así prevenir y/o detener la erosión remontante.

Al igual que en el desmonte de taludes, se mide la pendiente o grado de inclinación del talud y dependiendo de la profundidad de la cárcava se definirá el grado de inclinación con el que se realizará el desmonte del talud. Siendo normalmente de 2/1, pero pueden practicarse taludes de 0,5/1, 1/1, 2/1 ó 3/1 entre otros. Esto dependerá de las características del suelo. Como la cuenca del “Etang Pouillet” es en su mayoría franco arenosa, se harán taludes de 2/1 ó 3/1.

Después de realizar el desmonte, se procede a recubrir el talud como se indicaba al principio y se cerrará la obra con una presa de piedras o de gaviones.

Presas de piedras o de gaviones

Se ejecutarán de igual manera y bajo el mismo procedimiento que lo expuesto en “ 4.2.2.1. Presas de piedras” y en “4.2.2.3. Presas de Gaviones”. Esto influye tanto a la construcción como al espaciamiento.

De forma general se colocará una presa en el cierre del cabeceo y otra en el cierre de la cárcava, considerándose éste como el lugar que los taludes dejan de tener una pendiente abrupta y las paredes del cauce se vuelven estables. Normalmente coincide con un cambio brusco de pendiente y con la formación de conos de deyección.

4.2.4. Concienciación social y talleres formativos.

Se ha decidido incluir este apartado dentro de las actuaciones, porque es la población local el factor más importante en el control de la erosión y en el buen funcionamiento de las actuaciones.

Mucha gente, aún percibiendo la erosión como un problema, no conoce los factores que intervienen en el proceso erosivo y mucho menos relaciona unos con otros. Por otra parte, en las zonas donde la vida es tan difícil, no es fácil crear conciencia de la necesidad de preservar los recursos naturales para generaciones posteriores. La mentalidad consiste en vivir casi al día ya que las condiciones ambientales, la falta de infraestructuras y servicios y las crisis políticas y humanitarias recurrentes hacen casi imposible una perspectiva más a medio y largo plazo.

Es por esto, que antes de plantear una sola actuación, se debe proponer en un ámbito de diagnóstico participativo de la población interesada, esto se puede hacer una vez que se ha caracterizado la cuenca y se han planteado las posibles soluciones.

Se debe plantear el problema de la erosión como un proceso que en un momento dado es irreversible, y que conduce a la desertificación, con las nefastas consecuencias que eso tendría.

Normalmente las actuaciones en las cuencas se ejecutan por los habitantes de las mismas, dirigidos en cuadrillas por coordinadores. Éstos poseen ciertos conocimientos técnicos sobre las distintas actuaciones, pero nunca está de más hacer unos talleres para reforzar esos conocimientos y así evitar malas actuaciones. A continuación se enumeran algunos de los errores más habituales según el tipo actuación, que deben transmitirse en los talleres a los coordinadores:

- Actuaciones en cauces y cárcavas:
 - ✓ Muros sin delantal o no empotrados los estribos.
 - ✓ Muros con piedras muy pequeñas que no resisten la fuerza del agua.
 - ✓ Mantener un espaciamiento fijo sin considerar los sitios del cauce dónde es más propicia la construcción.
- Actuaciones en ladera:
 - ✓ Reforestar antes de ejecutar zanjas de infiltración o albarradas, lo que provoca que haya zanjas que pasen por encima de plantas.
 - ✓ No retirar las bolsas de plástico que sirven de contenedor de las plántulas provocando malformaciones en las raíces.

Entre las **funciones de los coordinadores** está la de controlar la asistencia de los trabajadores y la de hacer un informe diario de los rendimientos de su equipo. Para ello durante la jornada se irán midiendo las obras que se ejecuten y a la par se revisa su correcta realización.

Por otra parte, es muy importante contar con el beneplácito y la implicación de los propietarios de los terrenos, son muchas las obras que se han visitado al poco tiempo de haber sido ejecutadas en las que por ejemplo las plantas han sido arrancadas, unas veces porque al propietario no le gustan o no entiende que hacen allí, y otras veces como en el caso de los frutales, los arrancan para llevarlos más cerca de las casas. Si este último caso se da, no supone mucho al presupuesto global el proporcionar a los interesados ciertos árboles para que los pongan en sus huertos próximos a las viviendas.

Otro aspecto importante, es crear conciencia de que el manejo de la cuenca es bueno para todos y que todos deben participar en el mantenimiento de las actuaciones. Por ejemplo, después de una época de lluvias, los propietarios colindantes a las ravinatas, pueden vaciar los cuencos de las presas para que así sigan siendo útiles, además los sedimentos retirados pueden ser esparcidos por sus tierras con lo que aumentarán la fertilidad de las mismas. Lo mismo para el caso de las zanjas de infiltración. Las albarradas no es extraño que se puedan desmoronar por la acción humana o animal, hay que incidir en la idea que no cuesta mucho esfuerzo levantar las piedras y volver a recuperar la estructura.

En definitiva crear conciencia de que el más interesado y el beneficiario de las actuaciones y sus efectos es el habitante de la cuenca y no la ONG o la cooperación oficial que promueve las actuaciones.

4.3. Matrices de actuaciones

En las páginas siguientes se van a presentar las matrices de actuación según zonas de intervención (tablas de 4.11. a 4.13). De este modo se pueden visualizar la toma de decisiones de una forma más sencilla y gráfica.

Las matrices se han elaborado de acuerdo a las características de las actuaciones explicadas anteriormente.

Se recomienda leer pormenorizadamente la descripción de cada actuación para asegurar que la opción escogida mediante la matriz es la adecuada.

ACTUACIONES EN LADERAS				
PROFUNDIDAD del suelo	< 50 cm	Disponibilidad de piedras	ALBARRADAS	
	> 50 cm	ZANJAS DE INFILTRACIÓN		
		BARRERAS VIVAS		
		Disponibilidad de piedras	ALBARRADAS	
	PDTE.	> 50 %	REFORESTACIÓN	Combinar con:
< 50 %		MANEJO DE CULTIVOS		

Tabla 4.11.: Matriz de actuaciones en laderas. *Fuente: Elaboración propia.*

ACTUACIONES EN RAVINAS					
Transversales	Ancho	Pendiente			
	< 4m	> 35 %	PRESAS DE GAVIONES		
		< 35 %	¿Es posible utilizar piedras?	No	PRESAS DE SACOS (altura < 1m)
				Si	PRESAS DE PIEDRAS (altura < 2m)
	> 4 m	PRESAS DE GAVIONES			
Longitudinales					
	REVEGETACIÓN DE RIBERAS				

Tabla 4.12.: Matriz de actuaciones en cauces. *Fuente: Elaboración propia.*



Tabla 4.13.: Matriz de actuaciones en cárcavas. *Fuente: Elaboración propia.*

4.4. Cronograma de actuaciones

la época más favorable para la realización de las actuaciones se ha determinado de diciembre a febrero debido a las siguientes consideraciones:

- Es la época donde las precipitaciones son menores y menos intensas, con lo que se consigue una menor interferencia de estas sobre los trabajos.
- Las temperaturas son algo más suaves, lo que hace menos duras las condiciones de trabajo.
- La agricultura se desarrolla de forma general de marzo a noviembre, por lo que la ejecución de las actuaciones interfiere menos en las labores agrícolas de la población, y además ésta dispondrá de más tiempo libre para trabajar en la ejecución de las actuaciones.
- La reforestación será lo último que se ejecute, en las dos últimas semanas de febrero, justo antes de que comiencen las lluvias, así se evita que las plantas sufran un período de sequía prolongado. También se evita que una vez ejecutada la reforestación, se pierdan plantas por la ejecución de zanjas de infiltración u otras obras en la ladera.

Con carácter general se desarrollarán las actividades y actuaciones en el orden siguiente:

1. **Talleres de concienciación** dirigidos a la población local sobre la problemática de la erosión/desertificación, y la importancia e influencia del buen manejo de cultivos sobre dichos procesos con la participación de hombres, mujeres y niños. A cargo de los técnicos del Ministerio de Medio Ambiente u otros técnicos competentes. (Principios de septiembre).
2. Talleres de **actualización de conocimientos** para los coordinadores. A cargo de los técnicos del Ministerio de Medio Ambiente u otros técnicos competentes. (Principios de octubre).
3. **Definir intervenciones** con los propietarios (a mediados de septiembre con el fin de tener al menos dos meses para comprar herramientas y calcular el número de trabajadores necesario).
4. **Localización sobre el terreno de intervenciones** en ladera, ravinas y cárcavas. Con la participación de los coordinadores. (Finales de octubre).

5. **Adquisición de materiales** y encargo de plantas. (Noviembre).

6. **Ejecución de las actuaciones.** (Diciembre – febrero).

Con carácter general durante el proceso de toma de decisiones y la ejecución de las actuaciones se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones de carácter social y ambiental:

1. El diagnóstico de la problemática y la definición de las actuaciones incluirá a las mujeres.
2. Los equipos de trabajo incluirán en la medida de lo posible el mismo número o mayor de mujeres que de hombres.
3. Igualdad de salario para mujeres y hombres a igualdad de trabajo.
4. En la medida de lo posible, se elegirán todas las mujeres capaces de ser coordinador.
5. No se permite el trabajo a menores de 18 años. De esta forma se intenta evitar el trabajo infantil y el absentismo escolar.
6. Alterar lo menos posible el medio durante la ejecución de las actuaciones. Racionalizar el uso de estacas y de otros materiales. Reducir en lo posible los desechos y recogerlos.

Los puntos anteriores responden a líneas básicas de fomento de actitudes en trabajos de cooperación al desarrollo como son la igualdad entre mujeres y hombres, el empoderamiento de la mujer, la abolición del trabajo infantil y el respeto por el medio ambiente. La promoción de dichas actitudes se refrenda en los Objetivos Del Milenio (ODM) de Naciones Unidas (UN).

En la tabla 4.14. se recoge el cronograma de ejecución de las actuaciones.

Semana Actividad	Diciembre				Enero				Febrero			
	1ª	2ª	3ª	4ª	1ª	2ª	3ª	4ª	1ª	2ª	3ª	4ª
Tratamiento de cárcavas												
Replanteo												
Cabeceo de cárcavas												
Refine de taludes												
Obras transversales												
Tratamiento de ravinas												
Replanteo												
Obras transversales												
Revegetación de riberas												
Tratamiento de laderas												
Replanteo												
Zanjas y albarradas												
Reforestación												

Tabla 4.14.: Cronograma de ejecución de actividades. *Fuente: Elaboración propia.*

En el mapa de la figura 4.25. se representan las zonas potenciales para cada tipo de actuación, representado en la página siguiente. De dicho mapa se obtienen las superficies y longitudes de cada una de las actuaciones propuestas y recogidas en la tabla 4.15.

Zona	Unidad	Valor
Sistemas agroforestales	ha	91
Manejo de cultivos y actuaciones en ladera	ha	158
Reforestación	ha	57
Revegetación de riberas	ha	11
Manejo de cárcavas	m	1635
Obras en cauces	m	7086

Tabla 4.15.: Unidades de medida para las distintas zonas de actuación.

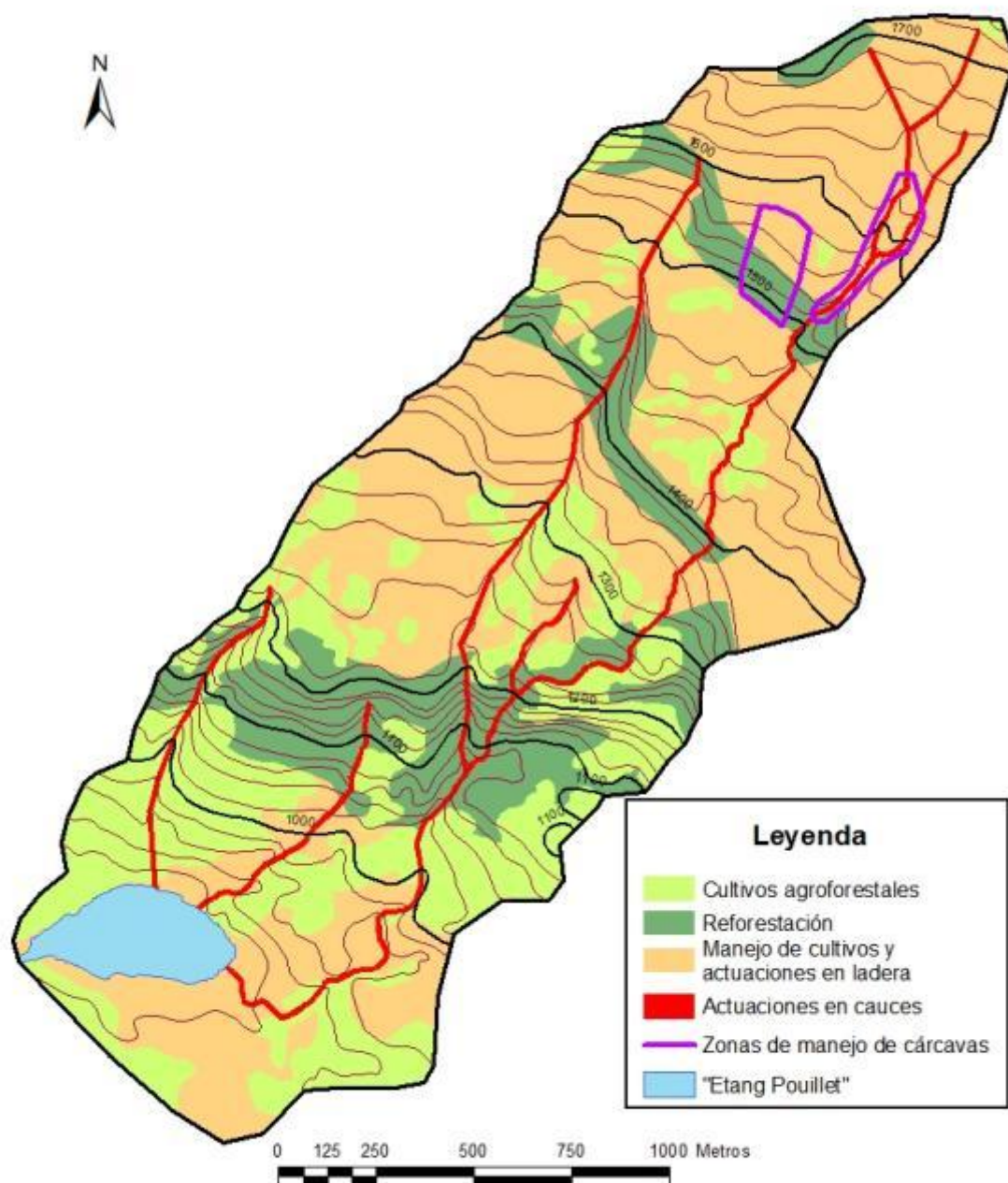


Figura 4.25.: Distribución de actuaciones en la cuenca del "Etang Pouillet".
Fuente: Elaboración propia.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Cámaras Artigas, R. et al (2005).** Desarrollo sostenible y medio ambiente en la República Dominicana. CSIC. Universidad de Sevilla.
- CONAFOR (2006).** Protección, restauración y conservación de suelos forestales. Manual de obras y prácticas. Comisión Nacional Forestal Mexicana.
- CSC-NOAA (2004).** Nonpoint Source Pollution and Erosion Comparison Tool (N-SPECT). User's Manual.
- DGM (2005).** Notice explicative de la carte géologique d'Haïti au 1/250 000. Bureau des mines.
- FAO (1981).** Clasificación provisional para la evaluación de la degradación de los suelos (FAO, PNYMA y UNESCO)
- FAO (2011).** Synthèse du diagnostic de la Commune de Marigot.
- García-Chevesich, P. (2008).** Procesos y control de la erosión. The University of Arizona. Outskirt Press, Inc. Denver, Colorado.
- Gómez Sanz, V. (2005).** Caracterización básica de biotopos forestales. Servicio de Reprografía de la E.U.I.T. Forestal. Madrid.
- Klingebiel, A.A. y Montgomery, P.H. (1961).** Land-Capability Classification. USDA-SCS Agric. Handb. 210. U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC.
- Lianes Revilla, E. (2008).** Estudio del factor vegetación "C" de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo Revisada "RUSLE" en la cuenca del río Birrís (Costa Rica). Trabajo fin de carrera.
- Lumbroso, D.M. et al (2011).** The challenges of developing rainfall intensity-duration-frequency curves and national flood hazard maps for the Caribbean. Journal of Flood Risk Management.
- MacFadden, B. (1986).** Geological setting of Macaya and La Visite National Parks Southern Peninsula of Haiti. University of Florida. 1986.
- Mintegui Aguirre, J.A. y Lopez Unzu, F. (1990).** La ordenación agrohidrológica en la planificación. Gobierno Vasco.
- PNUD (2009).** Diagnostic de l'Unité Hydrographique du Sud-Est.
- Renard, K.G. y Freimund, J.R. (1994).** Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. Journal of Hydrology.
- Renard, K.G. et al (1996).** Predicting Soil Erosion by water: A guide to Conservation Planning With the R.U.S.L.E. (USDA, Handbook Number 703).
- SEO/Birdlife (2008).** Inventaire de la biodiversité au Parc National La Visite.
- Thorntwaite, C.W. (1948).** An approach toward a rational classification of climate. Geogr. Rev., 38.
- Williams, J.R. (1975).** Sediment - yield prediction with universal equation using runoff energy factor. Proceeding Yield Workshop, USDA Sedimentation Laboratory, Oxford, Mississippi.
- Wischmeier, W.H. and Smith, D.D.. (1978).** "Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning." Agriculture Handbook No. 537. USDA/Science and Education Administration, US. Govt. Printing Office, Washington, DC.

ANEXOS

Anexo I.

CÁLCULO DE LA ETP (evapotranspiración potencial)

Evapotranspiración (ET), es la consideración conjunta de dos procesos diferentes: la evaporación y la transpiración.

Evapotranspiración potencial (ETP), es la evapotranspiración que se produciría si la humedad del suelo y la cobertura vegetal estuvieran en condiciones óptimas.

Evapotranspiración real máxima posible (ETRMP), es la que se produce realmente en las condiciones existentes en cada caso.

CÁLCULO DE LA ETP MEDIANTE LA FÓRMULA DE THORNTHWAITE

Se calcula la ETP mes a mes para datos medios de una serie de años:

1º) Se calcula un “índice de calor mensual” (i_i) a partir de la temperatura media mensual (T_i):

$$i_i = \left(\frac{T_i}{5} \right)^{1,514}$$

2º) Se calcula el “índice de calor anual” (I) sumando los 12 valores de i :

$$I = \sum i$$

3º) Se calcula la ETP mensual “sin corregir” mediante la fórmula:

$$ETP_{\sin \text{ corr.}} = 16 \cdot \left(\frac{10 \cdot t}{I} \right)^a$$

Donde:

$ETP_{\sin \text{ corr.}}$ = ETP mensual en mm/mes para meses de 30 días y 12 horas de sol (teóricas)

t = temperatura media mensual (en °C).

I = índice de calor anual, obtenido en el punto 2º.

$a = 675 \cdot 10^{-9} \cdot I^3 - 771 \cdot 10^{-7} \cdot I^2 + 1792 \cdot 10^{-5} \cdot I + 0,49239$

4º) Corrección para el número de días del mes y el número de horas de sol:

$$ETP = ETP_{\sin corr.} \left(\frac{N}{12} \right) \left(\frac{d}{30} \right)$$

Donde:

ETP = evapotranspiración potencial corregida.

N = número máximo de horas de sol, dependiendo del mes y de la latitud (Tabla I.1.)

d = número de días del mes.

Se determinan los valores de las siguientes variables:

T_i : Temperatura media mensual del mes "i" en °C.

P_i : Precipitación media mensual del mes "i" en mm.

ETP_i : Evapotranspiración Potencial del mes "i" en mm.

s_i : Superávit del mes "i" en mm ($P_i - ETP_i$, siempre que sea > 0,0)

d_i : Déficit del mes "i" en mm ($P_i - ETP_i$, siempre que sea < 0,0)

R_i : Reserva de agua en el suelo en el mes "i", en mm.

El cálculo de esta variable se inicia por la reserva de agua en el suelo al final del período húmedo (reserva en el último mes con superávit), valor que recibe el nombre de K. Para determinar el valor K se procede calculando el valor de A según la siguiente expresión:

$$CRA \cdot e^{-\left(\frac{D}{CRA}\right)} + S = A$$

donde: **CRA**: capacidad de retención máxima de agua que el suelo presenta.

S: sumatoria de todos los superávit mensuales.

D: sumatoria de todos los déficit mensuales.

Así, si:

✓ $A \geq CRA$, entonces $K = CRA$.

✓ $A < CRA$, se tantea la expresión siguiente, dando diferentes valores a K hasta conseguir que se cumpla la igualdad:

$$K = K \cdot e^{-\left(\frac{D}{K}\right)} + S$$

Conocido el valor de K, las reservas mensuales de agua en el suelo se determinan:

- mes con superávit: $R_i = K \cdot e^{-\left(\frac{\sum \text{deficits hasta el mes "i"}}{K}\right)}$
- mes con déficit: $R_i = R_{i-1} + s_i$ (si R_i resulta > CRA, entonces $R_i = CRA$)

ETRMP_i: Evapotranspiración Real Máxima Posible en el mes “i”, en mm.

Determinación:

- meses con superávit: $ETRMP_i = ETP_i$

- meses con déficit: $ETRMP_i = R_{i-1} - R_i + P_i$

SF_i: Sequía Fisiológica del mes “i” en mm. Determinación:

$$SF_i = ETP_i - ETRMP_i$$

DC_i: Drenaje Calculado del suelo en el mes “i”, en mm. Cálculo:

$$DC_i = R_{i-1} + s_i - CRA$$

(si resulta $DC_i < 0,0$ entonces $DC_i = 0,0$)

El modelo de Ficha Hídrica de Thornthwaite permite extraer una serie de índices o parámetros de naturaleza climática:

✓ Eficacia Térmica del Clima (Thornthwaite, 1948): suma de las 12 ETPs mensuales.

✓ Índice Hídrico (Thornthwaite, 1948):

$$I_h = \frac{100 \cdot S - 60 \cdot D}{ETC}$$

donde: **ETC**: Eficacia Térmica del Clima.

S: sumatoria de todos los superávit mensuales.

D: sumatoria de todos los déficit mensuales.

✓ Sequía Fisiológica Total: suma de las SF mensuales.

✓ Evapotranspiración Máxima Posible Anual: suma de las 12 ETRMPs mensuales.

✓ Drenaje Calculado del Suelo: suma de los drenajes mensuales del suelo.

De acuerdo con los valores de los dos primeros parámetros Thornthwaite propuso la clasificación climática siguiente.

ETC (mm)	CLIMA	I_h	CLIMA
> 1140	Megatérmico	> 100	Perhúmedo
de 570 a 1140	Mesotérmico	de 20 a 100	Húmedo
de 285 a 570	Microtérmico	de 0 a 20	Subhúmedo
de 142,5 a 285	De tundra	de -20 a 0	Semiseco
< 142,5	Glacial	de -40 a -20	Semiárido
		de -60 a -40	Árido

Tabla I.1.: Clasificación climática de Thornthwaite (1948)

Northern Hemisphere												Lat. deg.	Southern Hemisphere											
Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0.0	6.6	11.0	15.6	21.3	24.0	24.0	17.6	12.8	8.3	2.3	0.0	70	24.0	17.4	13.0	8.4	2.7	0.0	0.0	6.4	11.2	15.7	21.7	24.0
2.1	7.3	11.1	15.3	19.7	24.0	22.3	17.0	12.7	8.7	4.1	0.0	68	21.9	16.7	12.9	8.7	4.3	0.0	1.7	7.0	11.3	15.3	19.9	24.0
3.9	7.8	11.2	14.9	18.7	22.0	20.3	16.4	12.7	9.0	5.2	1.9	66	20.1	16.2	12.8	9.1	5.3	2.0	3.7	7.6	11.3	15.0	18.8	22.1
5.0	8.2	11.2	14.7	17.9	20.3	19.2	16.0	12.6	9.3	6.0	3.7	64	19.0	15.8	12.8	9.3	6.1	3.7	4.8	8.0	11.4	14.7	18.0	20.3
5.7	8.5	11.3	14.4	17.3	19.2	18.4	15.7	12.6	9.5	6.6	4.8	62	18.3	15.5	12.7	9.6	6.7	4.8	5.6	8.3	11.4	14.5	17.4	19.2
6.4	8.8	11.4	14.2	16.8	18.4	17.7	15.3	12.5	9.7	7.1	5.6	60	17.6	15.2	12.6	9.8	7.2	5.6	6.3	8.7	11.5	14.3	16.9	18.4
6.9	9.1	11.4	14.1	16.4	17.8	17.2	15.1	12.5	9.9	7.5	6.2	58	17.1	14.9	12.6	9.9	7.6	6.2	6.8	8.9	11.5	14.1	16.5	17.8
7.3	9.3	11.5	13.9	16.0	17.3	16.8	14.8	12.4	10.1	7.9	6.7	56	16.7	14.7	12.5	10.1	8.0	6.7	7.2	9.2	11.6	13.9	16.1	17.3
7.7	9.5	11.5	13.8	15.7	16.8	16.4	14.6	12.4	10.2	8.2	7.1	54	16.3	14.5	12.5	10.2	8.3	7.2	7.6	9.4	11.6	13.8	15.8	16.9
8.0	9.7	11.5	13.6	15.4	16.5	16.0	14.4	12.4	10.3	8.5	7.5	52	16.0	14.3	12.5	10.4	8.6	7.5	8.0	9.6	11.6	13.7	15.5	16.5
8.3	9.8	11.6	13.5	15.2	16.1	15.7	14.3	12.3	10.4	8.7	7.9	50	15.7	14.2	12.4	10.5	8.8	7.9	8.3	9.7	11.7	13.6	15.3	16.1
8.6	10.0	11.6	13.4	15.0	15.8	15.5	14.1	12.3	10.6	9.0	8.2	48	15.4	14.0	12.4	10.6	9.0	8.2	8.5	9.9	11.7	13.4	15.0	15.8
8.8	10.1	11.6	13.3	14.8	15.5	15.2	14.0	12.3	10.7	9.2	8.5	46	15.2	13.9	12.4	10.7	9.2	8.5	8.8	10.0	11.7	13.3	14.8	15.5
9.1	10.3	11.6	13.2	14.6	15.3	15.0	13.8	12.3	10.7	9.4	8.7	44	14.9	13.7	12.4	10.8	9.4	8.7	9.0	10.2	11.7	13.3	14.6	15.3
9.3	10.4	11.7	13.2	14.4	15.0	14.8	13.7	12.3	10.8	9.6	9.0	42	14.7	13.6	12.3	10.8	9.6	9.0	9.2	10.3	11.7	13.2	14.4	15.0
9.5	10.5	11.7	13.1	14.2	14.8	14.6	13.6	12.2	10.9	9.7	9.2	40	14.5	13.5	12.3	10.9	9.8	9.2	9.4	10.4	11.8	13.1	14.3	14.8
9.6	10.6	11.7	13.0	14.1	14.6	14.4	13.5	12.2	11.0	9.9	9.4	38	14.4	13.4	12.3	11.0	9.9	9.4	9.6	10.5	11.8	13.0	14.1	14.6
9.8	10.7	11.7	12.9	13.9	14.4	14.2	13.4	12.2	11.1	10.1	9.6	36	14.2	13.3	12.3	11.1	10.1	9.6	9.8	10.6	11.8	12.9	13.9	14.4
10.0	10.8	11.8	12.9	13.8	14.3	14.1	13.3	12.2	11.1	10.2	9.7	34	14.0	13.2	12.2	11.1	10.2	9.7	9.9	10.7	11.8	12.9	13.8	14.3
10.1	10.9	11.8	12.8	13.6	14.1	13.9	13.2	12.2	11.2	10.3	9.9	32	13.9	13.1	12.2	11.2	10.4	9.9	10.1	10.8	11.8	12.8	13.7	14.1
10.3	11.0	11.8	12.7	13.5	13.9	13.8	13.1	12.2	11.3	10.5	10.1	30	13.7	13.0	12.2	11.3	10.5	10.1	10.2	10.9	11.8	12.7	13.5	13.9
10.4	11.0	11.8	12.7	13.4	13.8	13.6	13.0	12.2	11.3	10.6	10.2	28	13.6	13.0	12.2	11.3	10.6	10.2	10.4	11.0	11.8	12.7	13.4	13.8
10.5	11.1	11.8	12.6	13.3	13.6	13.5	12.9	12.1	11.4	10.7	10.4	26	13.5	12.9	12.2	11.4	10.7	10.4	10.5	11.1	11.9	12.6	13.3	13.6
10.7	11.2	11.8	12.6	13.2	13.5	13.3	12.8	12.1	11.4	10.8	10.5	24	13.3	12.8	12.2	11.4	10.8	10.5	10.7	11.2	11.9	12.6	13.2	13.5
10.8	11.3	11.9	12.5	13.1	13.3	13.2	12.8	12.1	11.5	10.9	10.7	22	13.2	12.7	12.1	11.5	10.9	10.7	10.8	11.2	11.9	12.5	13.1	13.3
10.9	11.3	11.9	12.5	12.9	13.2	13.1	12.7	12.1	11.5	11.0	10.8	20	13.1	12.7	12.1	11.5	11.1	10.8	10.9	11.3	11.9	12.5	13.0	13.2
11.0	11.4	11.9	12.4	12.8	13.1	13.0	12.6	12.1	11.6	11.1	10.9	18	13.0	12.6	12.1	11.6	11.2	10.9	11.0	11.4	11.9	12.4	12.9	13.1
11.1	11.5	11.9	12.4	12.7	12.9	12.9	12.5	12.1	11.6	11.2	11.1	16	12.9	12.5	12.1	11.6	11.3	11.1	11.1	11.5	11.9	12.4	12.8	12.9
11.3	11.6	11.9	12.3	12.6	12.8	12.8	12.5	12.1	11.7	11.3	11.2	14	12.7	12.4	12.1	11.7	11.4	11.2	11.2	11.5	11.9	12.3	12.7	12.8
11.4	11.6	11.9	12.3	12.6	12.7	12.6	12.4	12.1	11.7	11.4	11.3	12	12.6	12.4	12.1	11.7	11.4	11.3	11.4	11.6	11.9	12.3	12.6	12.7
11.5	11.7	11.9	12.2	12.5	12.6	12.5	12.3	12.1	11.8	11.5	11.4	10	12.5	12.3	12.1	11.8	11.5	11.4	11.5	11.7	11.9	12.2	12.5	12.6
11.6	11.7	11.9	12.2	12.4	12.5	12.4	12.3	12.0	11.8	11.6	11.5	8	12.4	12.3	12.1	11.8	11.6	11.5	11.6	11.7	12.0	12.2	12.4	12.5
11.7	11.8	12.0	12.1	12.3	12.3	12.3	12.2	12.0	11.9	11.7	11.7	6	12.3	12.2	12.0	11.9	11.7	11.7	11.7	11.8	12.0	12.1	12.3	12.3
11.8	11.9	12.0	12.1	12.2	12.2	12.2	12.1	12.0	11.9	11.8	11.8	4	12.2	12.1	12.0	11.9	11.8	11.8	11.8	11.9	12.0	12.1	12.2	12.2
11.9	11.9	12.0	12.0	12.1	12.1	12.1	12.1	12.0	12.0	11.9	11.9	2	12.1	12.1	12.0	12.0	11.9	11.9	11.9	11.9	12.0	12.0	12.1	12.1
12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0

Tabla I.2.: Número máximo de horas de sol (Fuente: Allen et al, 1998)

Anexo II.

CLIMODIAGRAMA DE WALTER-LIETH

1. Fundamento:

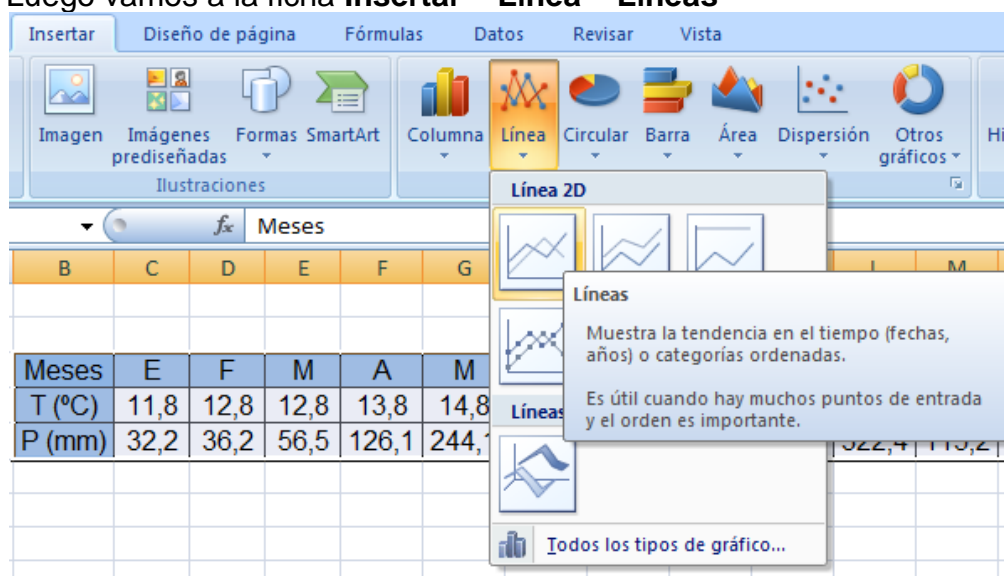
Siguiendo a GOMEZ SANZ, V. 2005. El diagrama consta de un sistema de ejes coordenados: en abscisas, el tiempo en meses y en ordenadas, las temperaturas medias mensuales en °C y las precipitaciones medias mensuales en mm. La escala de precipitaciones es el doble que la de temperaturas (2mm equivale a 1° C).

2. Procedimiento para la realización:

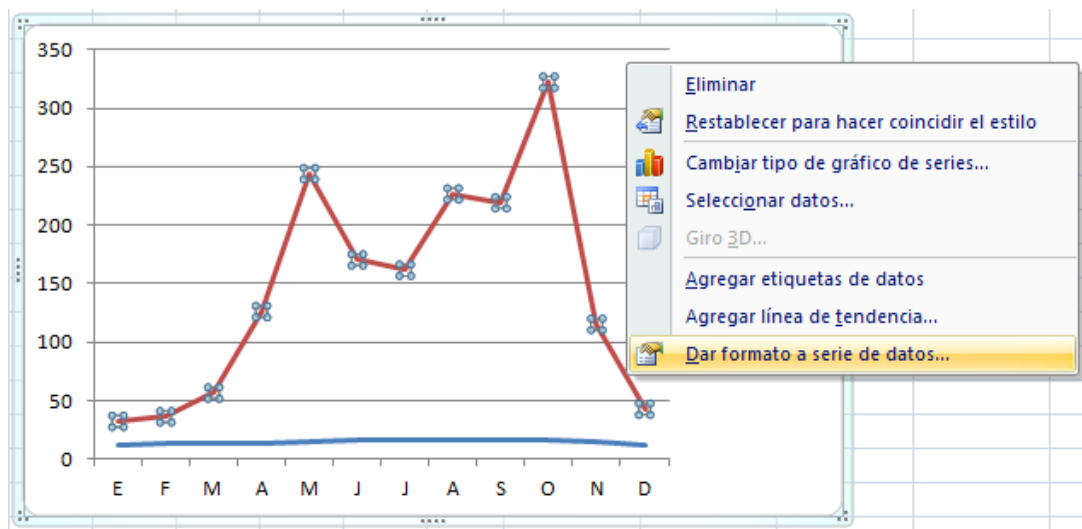
- Se necesita como dato de partida una tabla de Excel con meses, precipitaciones (mm) y temperaturas (°C) medias mensuales de una serie de años representativa.

Meses	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T (°C)	11,8	12,8	12,8	13,8	14,8	15,8	16,3	16,7	16,3	15,8	15,3	12,3
P (mm)	32,2	36,2	56,5	126,1	244,1	170,3	161,5	226,8	219,2	322,4	115,2	42,6

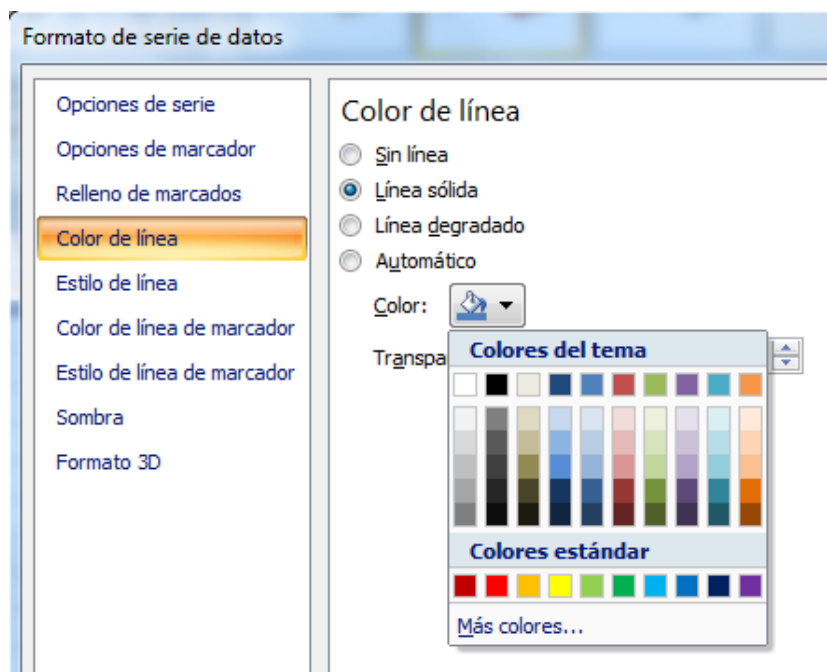
- Se selecciona la tabla
- Luego vamos a la ficha **Insertar – Línea – Líneas**



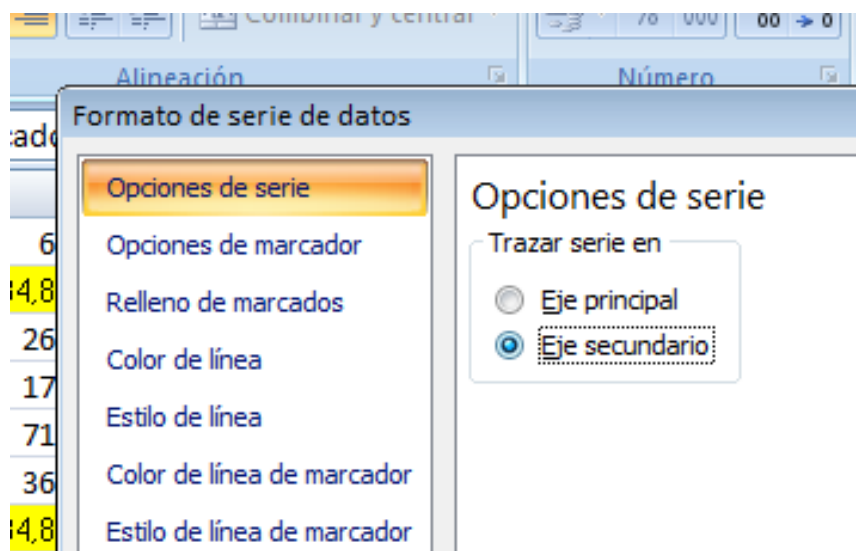
- Una vez creada la gráfica, vamos a cambiar el color de las líneas, a las precipitaciones le pondremos un color azul y a las temperaturas un color rojo. Para ello, seleccionamos la gráfica que queramos modificar primero y hacemos click derecho sobre ella, eligiendo **Dar formato a serie de datos...**



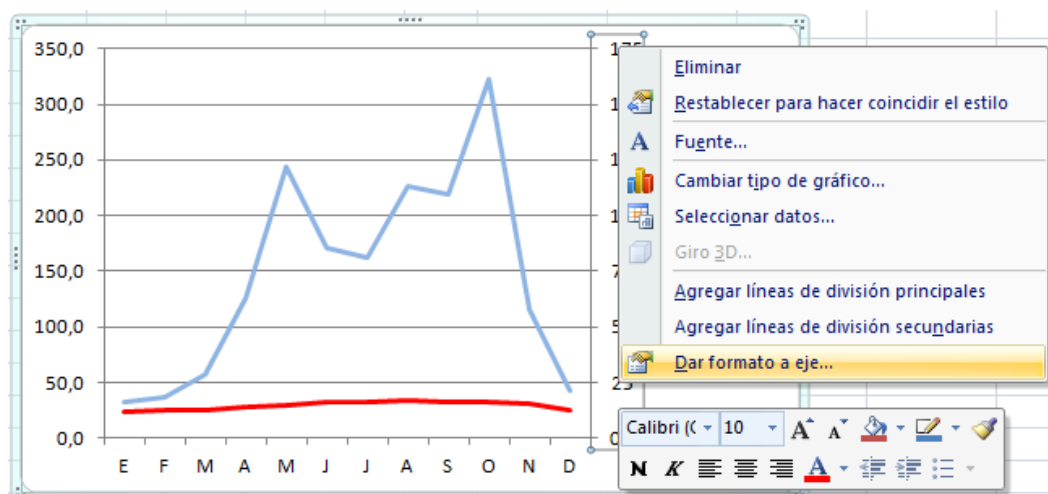
A continuación en la ficha **Color de línea** marcamos **Línea sólida** y en el menú desplegable de **Color** elegimos el que corresponda. Hacemos lo mismo para la otra gráfica.



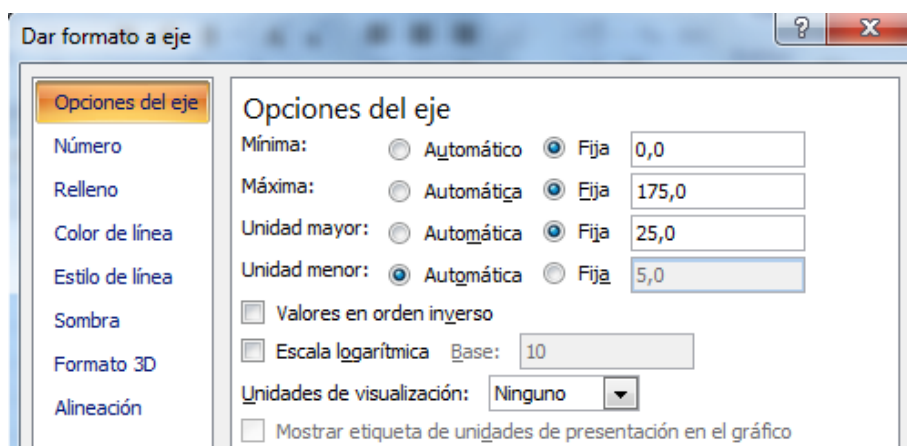
- Para poder ver la escala de la segunda gráfica, hacemos clic derecho sobre la gráfica de temperaturas, **Dar formato a serie de datos...**, y seleccionamos **Eje secundario**.



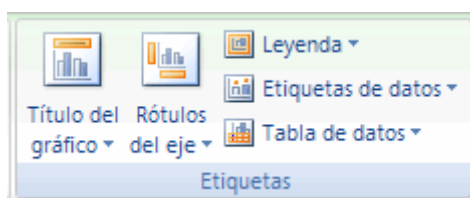
- Debemos hacer que la escala de las precipitaciones sea el doble que la escala de las temperaturas. Para ello hacemos click derecho en el eje secundario y seleccionamos **Dar formato a eje...**



- A continuación en **Opciones del eje** fijamos todos los valores y pondremos en:
 - **Mínima:** 0,0
 - **Máxima:** la mitad del valor que tenemos para las precipitaciones. Si para las precipitaciones tenemos 350, pondremos 175.
 - **Unidad mayor:** también la mitad que la unidad mayor de las precipitaciones.
 - **Unidad menor:** no suele ser relevante, la podemos dejar en automática.



- Para poner los diferentes títulos a los ejes, en la ficha **Presentación**, en el grupo **Etiquetas**, hacemos clic en **Rótulos del eje**. Y para poner título al climodiagrama, hacemos clic en **Título del gráfico**.



3. Definición de conceptos asociados al climodiagrama de Walter-Lieth

- **Intervalo de aridez (a):** número de meses en el que la línea de precipitaciones se encuentra por debajo de la de temperaturas.
- **Intensidad de la aridez (k):** cociente entre el área seca y el área húmeda.
 - Área seca: se denomina así a la porción del gráfico donde la gráfica de las precipitaciones se encuentra por debajo de la gráfica de las temperaturas.
 - Área húmeda: se denomina así a la porción del gráfico donde la gráfica de las precipitaciones se encuentra por encima de la gráfica de las temperaturas.

Duración del período vegetativo: número de meses en el que la línea de precipitaciones se encuentra por encima de la de temperaturas, con esta última por encima de los 6° C.

Anexo III.

Mapa de pendientes con ArcGIS

Herramienta 3D Analyst - Surface Analysis - Slope

Pasos:

1. Abrir ArcGIS (cerrar el cuadro que se abre dando a la X)
2. Cargar capas: Curvas de Nivel y Delimitación de la cuenca (o del territorio a tratar)
 - a. Las curvas de nivel han de sobresalir de la delimitación del territorio, para ello con la herramienta buffer (buscarla en el Index de ArcToolbox), creamos una zona buffer de la delimitación del territorio, de 500 m por ejemplo.
 - b. Cortar entonces las curvas de nivel de la cartografía con la zona buffer, ArcToolbox – Index – Intersect (analysis)
 - c. En el desplegable de “Input Features” seleccionamos la zona buffer y las curvas de nivel.
 - d. OK
 - e. Obtenemos así la capa de curvas de nivel que vamos a utilizar.
3. Creamos un TIN.
 - a. 3D Analyst – Create/Modify TIN – Create TIN From Features
 - b. En Layers seleccionamos “Curvas de Nivel” (las creadas antes)
 - c. En Height Source seleccionamos “Cota” o el campo que contenga los campos de altitud (Elevation p.ej.)
 - d. OK
4. Recortar el TIN
 - a. Para ello transformamos el TIN en raster. 3D Analyst – Convert – TIN to Raster. “Cell size” menor de 20 (10 por ejemplo). OK
 - b. Nos crea una nueva capa. La recortamos con el polígono de la cuenca mediante: ArcToolbox – Index – Extract by Mask
 - c. En “Input raster” metemos la capa creada en el paso anterior.
 - d. En “Input raster or feature mask data” seleccionamos el polígono de la cuenca. OK
 - e. Desactivamos todas las capas menos la nueva figura recortada.
 - f. Convertimos el Raster en TIN: 3D Analyst – Convert – Raster to TIN. En “Z tolerance” ponemos 1. OK
 - g. Nos vuelve a crear el TIN. Si queremos quitarle la línea de contorno: botón derecho sobre el nuevo TIN, Properties -

- Symbology y seleccionamos “Edge types” y le damos a “Remove Values”. Aplicar. Aceptar.
- h. Deseleccionamos todas las capas menos el último TIN (rasttin).
5. Para hacer el mapa de pendientes:
- 3D Analyst – Surface Analysis – Slope
 - Se puede elegir “Degree” para que el mapa sea en grados o “Percent” para que el mapa sea en porcentaje.
 - En “Output cell size” ponemos 10.
 - OK
6. Para asignar los intervalos que queramos:
- Señalamos la capa “Slope of rasttin” (se pone en azul)
 - 3D Analyst – Reclassify
 - Le damos a la pestaña Classify
 - En “Classes” elegimos el número de intervalos que queremos
 - En “Break Values” escribimos el límite superior del intervalo. El último valor dejamos el que venga por defecto.
 - OK
 - Vemos los intervalos, seleccionamos el “NoData” y le damos a “Delete Entries”
 - OK
7. Tenemos el mapa en Raster, lo tenemos que convertir a Shape.
- Seleccionamos la capa creada (“Reclass of Slope of rasttin”)
 - 3D Analyst – Convert – Raster to Features
 - OK
8. Calcular el área que tiene cada uno de los polígonos.
- ArcToolbox – Index – Calculate Areas (stats)
 - En “Input Feature Class”, en el menú desplegable, seleccionamos la capa con el mapa creado ya recortado.
 - OK
 - Nos crea una capa nueva llamada xxx_CalculateAreas
 - Le damos botón derecho “Open Attribute Table”, con el nombre F_Area, nos ha calculado la superficie.
 - Click con el botón derecho sobre F_Area – Calculate Geometry.
 - Elegimos en “Units” las unidades que queremos (m2, ha...)
9. Añadir un campo a la tabla de atributos y agrupar campos del mismo rango.
- Options – Add Field
 - En “Name” ponemos “Pendientes”
 - En “Type” ponemos “Text”

- d. En "Length" ponemos "10" por ejemplo
- e. OK
- f. Options – Select By Attributes
- g. Doble clic sobre "GRIDCODE", ponemos "= 1"
- h. Apply (nos selecciona todos los valores correspondientes)
- i. Click derecho sobre "Pendientes"
- j. "Field Calculator"
- k. En el cuadro inferior escribimos entre comillas el rango correspondiente
- l. OK
- m. Options – Clear Selection
- n. Repetimos los pasos de la "f" a la "m" tantas veces como rangos tengamos.
- o. El último intervalo lo nombraremos como mayor que (e.j.: >60)

10. Ver el mapa por colores:

- a. Click derecho sobre el nombre de la capa.
- b. Properties – Symbolology – Categories – Unique values
- c. En "Value Field" seleccionamos Pendientes
- d. Click sobre "Add All Values"
- e. Deseleccionar <all other values>
- f. Si los rangos no nos salen en orden, seleccionamos el rango que queramos mover y con las flechas de la derecha lo colocamos en la posición deseada.
- g. Aceptar

11. Calcular la superficie para cada rango:

- a. Abrimos la tabla de atributos
- b. Click botón derecho sobre "Pendientes" – Summarize
- c. Botón izquierdo sobre F_Area, seleccionamos "SUM"
- d. OK
- e. Si
- f. Donde las capas nos crea una tabla "Sum_Output"
- g. Botón derecho – Open. Vemos las sumas de las áreas.

Anexo IV.

Análisis de suelos

En este anexo, se explica cual fue el procedimiento para llevar a cabo el análisis de suelos.

En gabinete:

1. Se superpuso la cartografía disponible (pendientes, suelos, orientaciones, vegetación...) y se determinaron los distintos recintos heterogéneos entre sí, en los cuales se iban a tomar las muestras.

2. Mediante ArcGIS 9.3.1. se localizaron los puntos de muestreo y se introdujeron las coordenadas en un receptor GPS. Se anotaron en fichas (ver más adelante) las características del lugar.

En campo:

3. Mediante el GPS, se localizó el punto de muestreo y se comprobó que las características coincidían con las previstas

4. **Se anotó:**

- a. Vegetación, distinguiendo, si procedía, por pisos: cubierta (Fcc), arbolado, matorral, herbácea y agrícola. Especies y estado vegetativo.
- b. Prácticas de conservación de suelos (Si, No)
- c. Pastoreo (Si, No)
- d. Afloramientos rocosos (%)

5. Se hicieron fotos y se anotaron observaciones (ver ficha adjunta).

6. Muestreo del suelo. Alrededor del punto localizado con el GPS, se dividió el terreno en 4 sectores según los puntos cardinales, se tomaron dos muestras de los 20 primeros cm en cada sector, total 8 muestras. Se homogeneizaron y se guardó alrededor de 1 kg en una bolsa de tela.

Análisis:

Las muestras se llevaron para su análisis al laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía y Medicina Veterinaria de la Universidad del Estado de Haití en Puerto Príncipe. Quien remitió los resultados pasado un mes. La clasificación de textural se hizo según la figura I.4.1. y la clasificación de materia orgánica se hizo según la tabla I.4.1.

FICHA DE MUESTREO

Número de muestra*: 1

- ✓ Fecha de observación*: 14/10/2011
- ✓ Localización administrativa: Sección comunal de Macary, Comuna de Marigot, Departamento del Sudeste, Haití.
- ✓ Coordenadas UTM (m)*: (las previstas)
- ✓ Pendiente (%)*: >30%
- ✓ Orientación*: SO
- ✓ Material mineral original: (basado en el mapa geológico de Haití)
 - Calizas duras
 - Margas y calizas margosas
- ✓ Afloramientos rocosos*: NO
- ✓ Pedregosidad superficial (≤5%, 5-25%, 25-50%, 50-75%, >75%)*
- ✓ Vegetación (descripción)*: Sistema agroforestal: Café, caña de azúcar, banano, abocatier, araout, mirliton, eucaliptus, bwa gras...
- ✓ Drenaje superficial del suelo (normal, excesivo, defectivo)*
- ✓ Numero de estructura según USDA: 2
- ✓ Erosión (no apreciable, ligera, notable)*
 - Tipo*:
- ✓ Estado del tiempo actual y días anteriores*: Tiempo actual nublado; días anteriores lluvia.
- ✓ Presencia de costras (Sí, No)*
- ✓ Uso del suelo o influencia humana*: Uso agrícola con especies perennes.
- ✓ Fotos: 16 y 17.
- ✓ Observaciones*: Pequeño sistema agroforestal rodeando una vivienda.

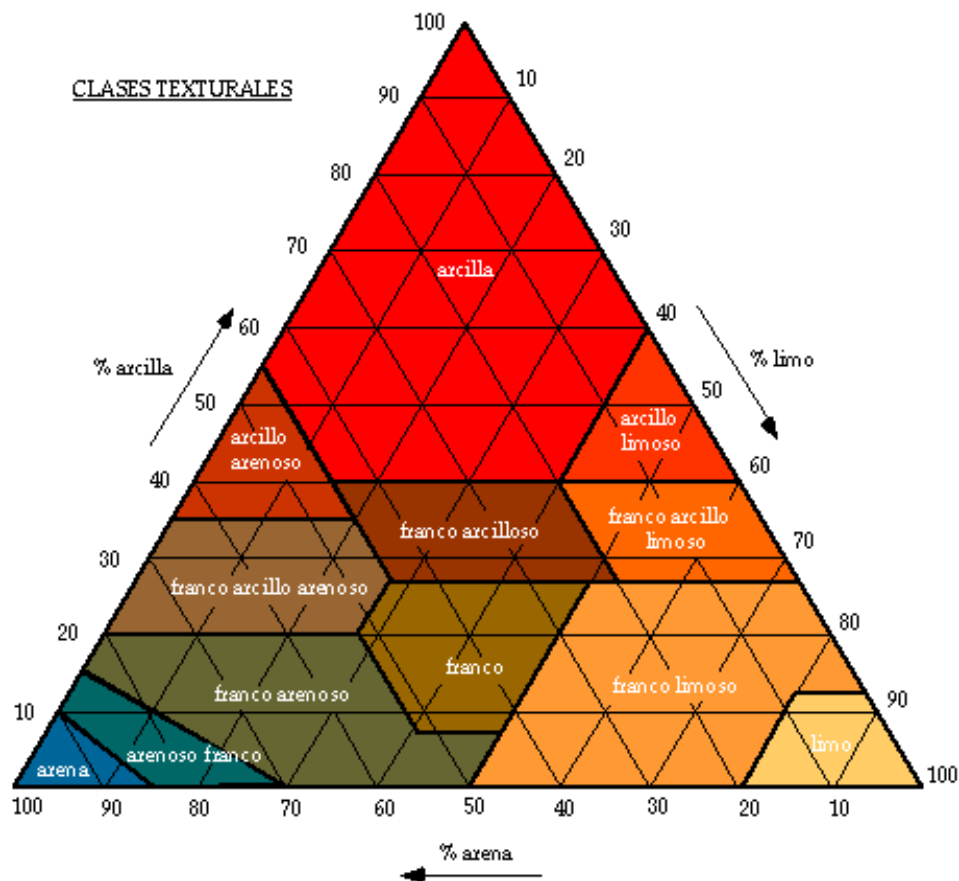


Figura IV.1.: Triángulo de texturas propuesto por el USDA.

Cantidad de MO (%)	Evaluación
< 2,5	Muy deficiente (deficientemente humífero)
2,5 a 4,9	Algo deficiente (moderadamente humífero)
5,0 a 9,9	Bien provisto (humífero)
9,9 a 19,9	Algo excesivo (fuertemente humífero)
> 20	Muy excesivo (excesivamente humífero)

Tabla IV.1.: Evaluación de la materia orgánica según Gandullo (1985).

En la tabla IV.2. se presentan los resultados del análisis de textura asociados a cada escenario así como los valores del número de curva obtenidos mediante el programa *NumCur* desarrollado por la Universidad de Valladolid.

						Textura USDA						
Esc.	Litología	Pendiente	Vegetación	S (ha)	% Sup.	Arena	Limo	Arcilla	Laboreo	CH	TS	NC
1	Calizas duras	> 30%	Cultivos perennes	2,29	0,75	55	40	5	-	Media	B	65
2	Calizas duras	> 30%	Cultivos anuales	46,49	15,18	65	30	5	R	Pobre	B	81
3	Calizas duras	< 30%	Cultivos perennes	6,60	2,15	60	25	15	-	Buena	B	58
4	Calizas duras	< 30%	Cultivos anuales	62,37	20,37	55	25	20	C	Pobre	C	84
5	Margas y calizas margosas	> 30%	Cultivos perennes	39,33	12,84	70	20	10	-	Media	B	65
6	Margas y calizas margosas	> 30%	Cultivos anuales	43,99	14,37	65	20	15	R	Pobre	B	81
7	Margas y calizas margosas	< 30%	Cultivos perennes	42,52	13,89	65	25	10	-	Buena	B	58
8	Margas y calizas margosas	< 30%	Cultivos anuales	62,61	20,45	55	25	20	C	Pobre	C	84
			Total*	306,20	100,00	NC medio ponderado por la superficie 76						
			Total perennes*	90,73	29,63							
			Total anuales*	215,47	70,37							
						100,00						

* No se ha tenido en cuenta la superficie inundada por el lago

Tabla IV.2.: Resumen de las características de los suelos por escenarios, resultados del análisis de textura y valores del número de curva. **Donde:** **CH:** condición hidrológica; **TS:** código del tipo de suelo, lo da el programa a partir de los valores de textura; **NC:** número de curva calculado para cada escenario.

Anexo V.

Clases agrológicas

Para determinar la clase agrológica de cada escenario de suelo, se realizó una ficha de evaluación de acuerdo con los parámetros que se observan en la figura V.1. de la página siguiente.

Se fue revisando para cada escenario, todos los parámetro de cada clase agrológica. Aquellos que se cumplía se marcaban con un “1”, aquellos que no cumplía se marcaban con un “0”.

Al final de la evaluación, se hacía la suma para cada clase agrológica obteniéndose valores distintos en función de los parámetros que se cumplían.

Por último se asigno a cada escenario aquella clase agrológica que mayor puntuación había obtenido. Teniendo la precaución de revisar la definición de cada clase agrológica para contrastar que el escenario analizado la cumplía.

Las definiciones de las clases y subclases agrológicas se redactan a continuación de la figura V.1.

	CLASES AGROLÓGICAS							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Pendiente (%) Clases FAO, 1990	hasta suavem. incl. ≤ 6 clases 1 y 2	hasta suavemente incl. ≤ 6 clases 1 y 2	hasta inclinado ≤ 13 clase 3	hasta moderadam. escar. ≤ 25 clase 4	hasta suave ≤ 6	hasta escarpado ≤ 55 clase 5	hasta muy escarpado ≤ 80 clase 6	hasta muy esc. > 80 clase 6
Espesor del suelo Profundidad útil (cm)	profundo ≥ 90	hasta moderado ≥ 60	hasta limitado ≥ 40	hasta escaso ≥ 20	cualquiera	cualquiera	cualquiera	cualquiera
Pedregosidad (%) Clases FAO, 1990	hasta predreg. ≤ 3 clases 0, 1 y 2	hasta muy pedreg. ≤ 15 clase 3	hasta muy pedreg. ≤ 15 clase 3	hasta excesivo ≤ 50 clase 4	abundantes típico	hasta excesivo ≤ 90 clase 4	hasta excesivo ≤ 90 clase 4	cualquiera > 90 clase 5
Rocas (%) Clases FAO, 1990	hasta muy pocas ≤ 2 clase 0	hasta muy pocas ≤ 2 clase 0	hasta moderadas ≤ 10 clase 1	hasta muy rocoso ≤ 50 clases 2 y 3	abundantes típico	hasta extremado ≤ 90 clase 4	hasta extremado ≤ 90 clase 4	cualquiera > 90 clase 5
Encharcamiento Clases FAO, 1990	no hay 0 meses	hasta estacional <3 meses	hasta frecuente <6 meses	hasta frecuente <6 meses	intenso muy típico	no permanente <9 meses	no permanente <9 meses	cualquiera >9 meses
Drenaje Clases FAO, 1990	bueno o moderado clases 3 y 4	algo excesivo clase 5	imperfecto o excesivo clases 2 y 6	escaso o muy escaso clases 0 y 1	muy escaso	cualquiera	cualquiera	cualquiera
Textura	equilibrada: fr, fr li	algo desequilibrada: fr arc, fr are, li, arc are, fr arc are, fr arc li,	hasta desequilibrada: are, are fr	hasta desequilibrada: arc, arc li	cualquiera	cualquiera	cualquiera	cualquiera
Gravas %	nulas o pocas ≤ 20	hasta moderadas ≤ 40	hasta abundantes ≤ 60	hasta muy abundantes ≤ 80%	cualquiera	cualquiera	cualquiera	cualquiera
Materia orgánica %	hasta abundante ≥ 3 color horizonte A muy oscuro	hasta moderada 2- 1	hasta poca > 0,5	hasta escasa < 0,5	cualquiera	cualquiera	cualquiera	cualquiera
pH	favorable 6,5 - 7,5	hasta desfavorable 5,6-6,4 y 7,6-8,1	hasta muy desfavor. 5,0-5,5 y 8,2-8,3	hasta muy desfavor. 4,5-4,9 y 8,4-8,6	cualquiera	cualquiera	cualquiera	cualquiera
Grado saturación en bases %	saturado > 75	saturado > 50	desaturado >15	cualquiera	cualquiera	cualquiera	cualquiera	cualquiera
Carbonatos totales %	hasta pocos < 10	hasta moderados < 20	hasta abundantes < 50	hasta muy abundantes < 70	cualquiera	cualquiera	cualquiera	cualquiera
Salinidad (dSm ⁻¹)	nula/ligera ≤ 3	hasta débil ≤ 5	hasta moderada ≤ 8	hasta severa ≤ 16	cualquiera	cualquiera	cualquiera	cualquiera
Meses secos	hasta pocos ≤ 3	hasta moderados ≤ 5	hasta abundantes ≤ 7	hasta muy abund. ≤ 9	árido típico	cualquiera	cualquiera	cualquiera
Riesgo de heladas nº meses T < 6°	muy escaso ≤ 2	hasta ligero ≤ 4	hasta moderado ≤ 6	hasta alto > 6	cualquiera	cualquiera	cualquiera	cualquiera
Erosión (tm/ha/año)	nula/ligera ≤10	hasta moderada ≤ 20	hasta alta ≤ 80	hasta muy alta ≤ 160	hasta ligera ≤ 10	cualquiera	cualquiera	cualquiera

La clase V es un caso especial, se trata de suelos de relieve llano que no se pueden cultivar principalmente por presentar un encharcamiento permanente, o por una extraordinaria abundancia de fragmentos gruesos (si el suelo no cumple estas condiciones, trate esta tabla como si no existiese esta clase V).

Las clases FAO corresponden a la “Guía para la descripción de perfiles de suelo” (1990).

Clave de texturas.

Equilibrada: fr = franca, fr li = franco limosa

Algo desequilibradas: fr arc = franco arcillosa, fr are = franco arenosa, fr arc are = franco arcillo arenosa, fr arc li = franco arcillo limosa, li = limosa,

Desequilibradas gruesas: are = arenosa, are fr = arenosa franca

Imagen V.1.: Tabla para la evaluación de los parámetros de las clases agrológicas.

El método fue elaborado por el Soil Conservation Service de USA según el sistema propuesto por Klingebiel y Montgomery (1961).

Ha sido ampliamente utilizado en todo el mundo con numerosas adaptaciones. Es un sistema categórico que, en su versión original, utiliza criterios cualitativos. La inclusión de un suelo en una clase se efectúa de una manera inversa, es decir, no buscando de forma directa la idoneidad, sino su grado de limitación respecto de un parámetro en función de un uso concreto. Para clasificar un suelo se utilizan un conjunto de caracteres. En un principio Klingebiel y Montgomery utilizaron unos que definen la capacidad productiva (intrínsecos: profundidad del suelo, textura/estructura, permeabilidad, pedregosidad, rocosidad, salinidad, manejo del suelo; extrínsecos: temperatura y pluviometría) y otros que valoran la pérdida de productividad (pendiente del terreno y grado de erosión). Pero los distintos autores que han utilizado este método han ido cambiando los parámetros diferenciadores según sus necesidades (se han introducido valores de materia orgánica, pH, grado de saturación, capacidad de cambio de cationes, carbonatos...). Además es frecuente que en su aplicación se introduzcan criterios cuantitativos (se obtienen medidas de cada uno de los parámetros y a cada clase se le asignan unos intervalos de cada parámetro).

Se consideran cinco sistemas de explotación agrícola:

- laboreo permanente,
- labores ocasionales,
- pastos,
- bosques,
- reservas naturales.

Se trata de un sistema que busca la producción máxima con mínimas pérdidas de potencialidad.

Se establecen tres niveles de clasificación:

- clases,
- subclases,
- unidades

Se definen 8 clases con limitaciones de utilización crecientes desde la I (la mejor) a la VIII (la peor).

laboreo permanente (o cualquier tipo de explotación). Clase I, suelos ideales; clase II, suelos buenos pero con algunas limitaciones; clase III, suelos aceptables pero con severas limitaciones.

laboreo ocasional (o pastos, bosques, o reservas naturales). Clase IV.

no laboreo, solo pastos o bosques (o reservas naturales) no recomendable un uso agrícola por presentar muy severas limitaciones y/o requerir un cuidadoso manejo; clases V, VI y VII.

reservas naturales (clase VIII).

Dependiendo del tipo de limitación se establecen varias subclases de capacidad, Klingebiel y Montgomery definieron

- e, para riesgos de erosión;
- w, para problemas de hidromorfía;
- s, para limitaciones del suelo que afectan al desarrollo radicular;
- c, para limitaciones climáticas.

Pero como ha ocurrido con otros aspectos de esta clasificación los autores que la han utilizado han definido otra serie de subclases.

Este sistema presenta indudables ventajas aunque no carece de inconvenientes (muy fácil y rápida; requiere pocos datos). Las clases son definidas con criterios muy generales, sencillos y fáciles de comprender y adaptar a regiones muy diversas, pero resulta difícil de aplicar con criterios objetivos. Todos los caracteres que configuran la capacidad agrológica tienen idéntico peso. Una misma clase engloba a suelos muy diferentes al ser un sólo parámetro (el máximo factor limitante) el que clasifica al suelo dentro de una determinada clase (en una misma clase podemos encontrar a un suelo que le falla el espesor junto a otro cuyo factor limitante es la salinidad). Con este sistema se obtiene una clasificación muy general de la capacidad del suelo, ya que a veces se prescinde de numerosas características de los suelos de indudable interés, pero tiene la ventaja de que no es necesario tener un conocimiento profundo del suelo. Su utilización resulta ser bastante subjetiva si bien se adapta bien a la experiencia del evaluador (si se utilizan criterios cualitativos se hace muy rápida la evaluación, no hace falta medir, pero los datos resultan ser difícilmente utilizables por otro experto, por ejemplo si un suelo se clasifica dentro de una clase por tener poca materia orgánica, el que ha clasificado sabe a lo que se refiere pero el que lo lee no sabe qué quiere decir “poca materia orgánica”, ¿<1%? ¿1%? ¿2%? ¿4%? y esto se evita utilizando criterios cuantitativos, aunque estos tienen el inconveniente de que exigen la medida en el laboratorio de las características del suelo).

Las principales características de las ocho clases las relacionamos a continuación (pero bien entendido que se trata de la descripción de las características centrales de cada clase y que un suelo concreto no tiene que presentar todas ellas).

✓ **Clase I.** Los suelos de la clase I no tienen, o sólo tienen ligeras, limitaciones permanentes o riesgos de erosión. Son excelentes. Pueden cultivarse con toda seguridad empleando métodos ordinarios. Estos suelos son profundos, productivos, de fácil laboreo y casi llanos. No presentan riesgo de encharcamiento, pero tras un uso continuado pueden perder fertilidad.

Cuando los suelos de esta clase se emplean para cultivo, necesitan labores que mantengan su fertilidad y preserven su estructura. Entre ellas se cuentan el abonado, la aplicación de la caliza, las cubiertas vegetales o el abonado en verde y también la aplicación de restos de la cosecha, además de las rotaciones de cultivos.

✓ **Clase II.** Esta clase la integran suelos sujetos a limitaciones moderadas en el uso. Presentan un peligro limitado de deterioro. Son suelos buenos. Pueden cultivarse mediante labores adecuadas, de fácil aplicación.

Estos suelos difieren de los de la clase I en distintos aspectos. La principal diferencia estriba en que presentan pendiente suave, están sujetos a erosión moderada, su profundidad es mediana, pueden inundarse ocasionalmente y pueden necesitar drenaje. Cada uno de estos factores requiere atención especial. Los suelos pueden necesitar prácticas comunes, como cultivo a nivel, fajas, rotaciones encaminadas a la conservación de los mismos, mecanismos de control del agua o métodos de labranza peculiares. Con frecuencia requieren una combinación de estas prácticas.

✓ **Clase III.** Los suelos de esta clase se hallan sujetos a importantes limitaciones en su cultivo. Presentan serios riesgos de deterioro. Son suelos medianamente buenos. Pueden cultivarse de manera regular, siempre que se les aplique una rotación de cultivos adecuada o un tratamiento pertinente. Sus pendientes son moderadas, el riesgo de erosión es más severo en ellos y su fertilidad es más baja.

Sus limitaciones y sus riesgos son mayores que los que afectan a la clase anterior, estas limitaciones con frecuencia restringen las posibilidades de elección de los cultivos o el calendario de laboreo y siembra.

Requieren sistemas de cultivo que proporcionen una adecuada protección vegetal, necesaria para defender al suelo de la erosión y para preservar su estructura (fajas, terrazas, bancales, etc). Puede cultivarse en ellos el heno u otros cultivos herbáceos en lugar de los cultivos de surco. Necesitan una combinación de distintas prácticas para que el cultivo sea seguro.

✓ **Clase IV.** Esta clase está compuesta por suelos con limitaciones permanentes y severas para el cultivo. Son suelos malos. Pueden cultivarse ocasionalmente si se les trata con gran cuidado. Generalmente deben limitarse a cultivos herbáceos.

Los suelos de esta clase presentan características desfavorables. Con frecuencia se hallan en pendientes fuertes sometidos a erosión intensa. Su adecuación para el cultivo es muy limitada. Generalmente deben ser dedicados a heno o a pastos, aunque puede obtenerse de ellos una cosecha de grano cada cinco o seis años. En otros casos puede tratarse de suelos someros o moderadamente profundos, de fertilidad baja, o localizados en pendientes.

✓ **Clase V.** Los suelos de esta clase deben mantener una vegetación permanente. Pueden dedicarse a pastos o a bosques. La tierra es casi horizontal. Tienen escasa o ninguna erosión. Sin embargo, no permiten el cultivo, por su carácter encharcado, pedregoso, o por otras causas.

El pastoreo debe ser regulado para evitar la destrucción de la cubierta vegetal.

✓ **Clase VI.** Los suelos de esta clase deben emplearse para el pastoreo o la silvicultura y su uso entraña riesgos moderados. Se hallan sujetos a limitaciones permanentes, pero moderadas, y no son adecuados para el cultivo. Su pendiente es fuerte, o son muy someros. No se debe permitir que el pastoreo destruya su cubierta vegetal.

La tierra de la clase VI es capaz de producir forraje o madera cuando se administra correctamente. Si se destruye la cubierta vegetal, el uso del suelo debe restringirse hasta que dicha cubierta se regenere.

✓ **Clase VII.** Los suelos de esta clase se hallan sujetos a limitaciones permanentes y severas cuando se emplean para pastos o silvicultura. Son suelos situados en pendientes fuertes, erosionados, accidentados, someros, áridos o inundados. Su valor para soportar algún aprovechamiento es mediano o pobre y deben manejarse con cuidado.

En zonas de pluviosidad fuerte estos suelos deben usarse para sostener bosques. En otras áreas, se pueden usar para pastoreo; en este último caso debe extremarse el rigor y el cuidado en su manejo.

✓ **Clase VIII.** Los suelos de esta clase no son aptos ni para silvicultura ni para pastos. Deben emplearse para uso de la fauna silvestre, para esparcimiento o para usos hidrológicos. Suelos esqueléticos, pedregosos, rocas desnudas, en pendientes extremas, etc.

En resumen los suelos de la clase I son suelos magníficos con todas sus características idóneas (*“sirven para todo, con altos rendimientos y se pueden usar de cualquier manera”*). Y conforme nos vamos desplazando hacia las otras clases se van perdiendo prestaciones de los suelos.

En la práctica para clasificar un suelo por este sistema de las Clases Agrológicas es muy útil confeccionarse una tabla con los distintos valores exigidos para cada parámetro en las diferentes clases.

Anexo VI.

Fauna

AVES

	Especie	Estado conservación UICN 2008	Observaciones
1	<i>Anthracothonax dominicus</i>	Preocupación menor (LC)	
2	<i>Buteo jamaicensis</i>	Preocupación menor (LC)	
3	<i>Calyptophilus frugivorus</i>	Vulnerable (VU)	Endémica
4	<i>Carduelis dominicensis</i>	Preocupación menor (LC)	Endémica
5	<i>Catharus bicknelli</i>	Vulnerable (VU)	Invernante
6	<i>Charadrius vociferus</i>	Preocupación menor (LC)	
7	<i>Chlorostilbon swainsonii</i>	Preocupación menor (LC)	Endémica
8	<i>Coccyzus longirostris</i>	Preocupación menor (LC)	Endémica
9	<i>Coereba flaveola</i>	Preocupación menor (LC)	
10	<i>Columbina passerina</i>	Preocupación menor (LC)	
11	<i>Contopus hispaniolensis</i>	Preocupación menor (LC)	Endémica
12	<i>Corvus leucognaphalus</i>	Vulnerable (VU)	Endémica
13	<i>Corvus palmarum</i>	Casi amenazada (NT)	Endémica
14	<i>Dendroica cerulescens</i>	Preocupación menor (LC)	Invernante
15	<i>Dendroica coronata</i>	Preocupación menor (LC)	Invernante
16	<i>Dendroica dominica</i>	Preocupación menor (LC)	Invernante
17	<i>Dendroica palmarum</i>	Preocupación menor (LC)	Invernante
18	<i>Dendroica pinus</i>	Preocupación menor (LC)	
19	<i>Elaenia fallax</i>	Preocupación menor (LC)	
20	<i>Falco sparverius</i>	Preocupación menor (LC)	
21	<i>Geothlypis trichas</i>	Preocupación menor (LC)	Invernante
22	<i>Loxia megaplaga</i>	En Peligro (EN)	Endémica
23	<i>Loxigilla violacea</i>	Preocupación menor (LC)	
24	<i>Melanerpes striatus</i>	Preocupación menor (LC)	Endémica
25	<i>Mellisuga minima</i>	Preocupación menor (LC)	
26	<i>Microligea palustris</i>	Preocupación menor (LC)	Endémica
27	<i>Mimus polyglottos</i>	Preocupación menor (LC)	
28	<i>Mniotilta varia</i>	Preocupación menor (LC)	Invernante
29	<i>Myadestes genibarbis</i>	Preocupación menor (LC)	
30	<i>Patagioenas inornata</i>	Casi amenazada (NT)	
31	<i>Phaenicophilus palmarum</i>	Preocupación menor (LC)	Endémica
32	<i>Phaenicophilus poliocephalus</i>	Casi amenazada (NT)	Endémica
33	<i>Quiscalus niger</i>	Preocupación menor (LC)	
34	<i>Seiurus aurocapilla</i>	Preocupación menor (LC)	Invernante
35	<i>Seiurus motacilla</i>	Preocupación menor (LC)	Invernante
36	<i>Setophaga ruticilla</i>	Preocupación menor (LC)	Invernante
37	<i>Sphyrapicus varius</i>	Preocupación menor (LC)	Invernante

38	<i>Spindalis dominicensis</i>	Preocupación menor (LC)	Endémica
39	<i>Streptoprocne zonaris</i>	Preocupación menor (LC)	
40	<i>Tachycineta euchrysea</i>	Vulnerable (VU)	
41	<i>Tiaris bicolor</i>	Preocupación menor (LC)	
42	<i>Tiaris olivaceus</i>	Preocupación menor (LC)	
43	<i>Todus angustirostris</i>	Preocupación menor (LC)	Endémica
44	<i>Turdus plumbeus</i>	Preocupación menor (LC)	
45	<i>Turdus swalesi</i>	En Peligro (EN)	Endémica
46	<i>Xenoligea montana</i>	Vulnerable (VU)	Endémica
47	<i>Zenaida macroura</i>	Preocupación menor (LC)	

Anfibios

	Especie	Estado conservación UICN 2008	Observaciones
1	<i>Eleutherodactylus abbotti</i> Cochran, 1923	Preocupación menor (LC)	Endémica de La Española
2	<i>Eleutherodactylus audanti</i> Cochran, 1934	Vulnerable (VU)	Endémica de La Española
3	<i>Eleutherodactylus darlingtoni</i> Cochran, 1935	Peligro crítico (CR)	Endémica del Macizo de la Selle
4	<i>Eleutherodactylus furcyensis</i> Shere & Williams, 1963	Peligro crítico (CR)	Endémica del Macizo de la Selle
5	<i>Eleutherodactylus glanduliferoides</i> Shreve, 1936	Peligro crítico (CR)	Endémica del Sur de La Española
6	<i>Eleutherodactylus armstrongi</i> Noble & Hassler, 1933	En Peligro (EN)	Endémica de La Española
7	<i>Eleutherodactylus jugans</i> Cochran, 1937	Peligro crítico (CR)	Endémica de La Española
8	<i>Eleutherodactylus leoncei</i> Shere & Williams, 1963	Peligro crítico (CR)	Endémica de La Española
9	<i>Eleutherodactylus oxyrhynchus</i> Duméril & Bibron, 1841	Peligro crítico (CR)	Endémica del Sur de Haití

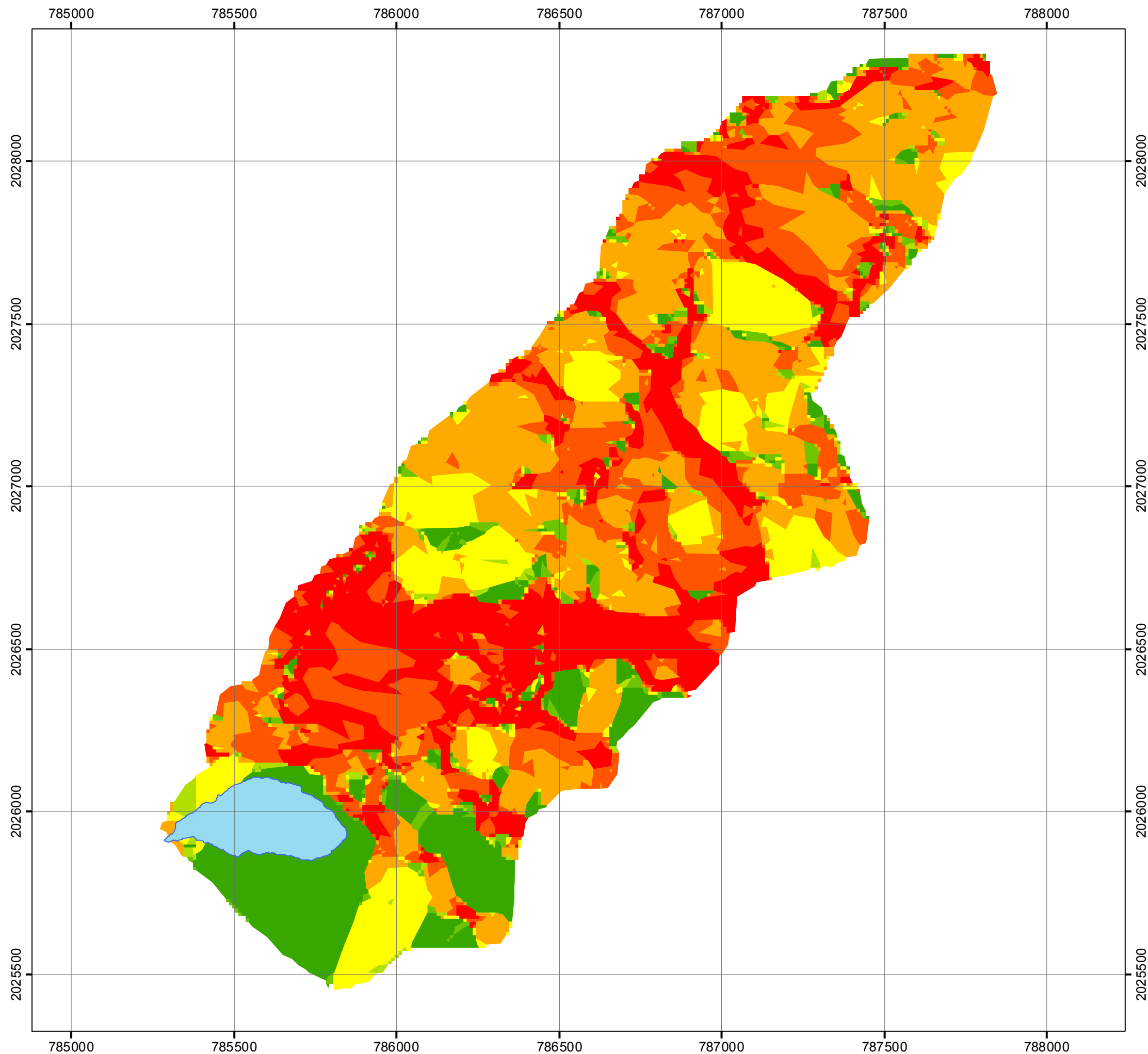
Reptiles

	Especie	Estado conservación UICN 2008	Observaciones
1	<i>Celestus haetianus haetianus</i> Cochran, 1927	Vulnerable (VU)	Endémica del Macizo de la Selle
2	<i>Anolis armouri</i> Cochran, 1934	Casi amenazada (NT)	Endémica Sur de La Española

Mamíferos

	Especie	Estado conservación UICN 2008	Observaciones
Insectívoro			
1	<i>Solenodon paradoxus</i>	En peligro (EN)	
Carnívoro			
2	<i>Herpestes auropunctatus</i>		Introducido para el control de ratas
Roedores			
3	<i>Plagiodontia aedium</i>	En peligro (EN)	
4	<i>Rattus rattus</i>		Introducido
5	<i>Rattus norvegicus</i>		Introducido
Quirópteros			
6	<i>Lasiurus borealis</i>	Preocupación menor (LC)	
7	<i>Eptesicus fuscus</i>	Preocupación menor (LC)	
8	<i>Macrotus waterhousii</i>	Preocupación menor (LC)	

MAPAS



MAPA N° 1

MAPA DE PENDIENTES



0 125 250 500 Metros



SISTEMA DE COORDENADAS:
WGS 1984 UTM ZONA 18 N

N



Fuente: Elaboración propia

Leyenda

 Etang Pouillet

Pendientes

 0-2%

 2-5%

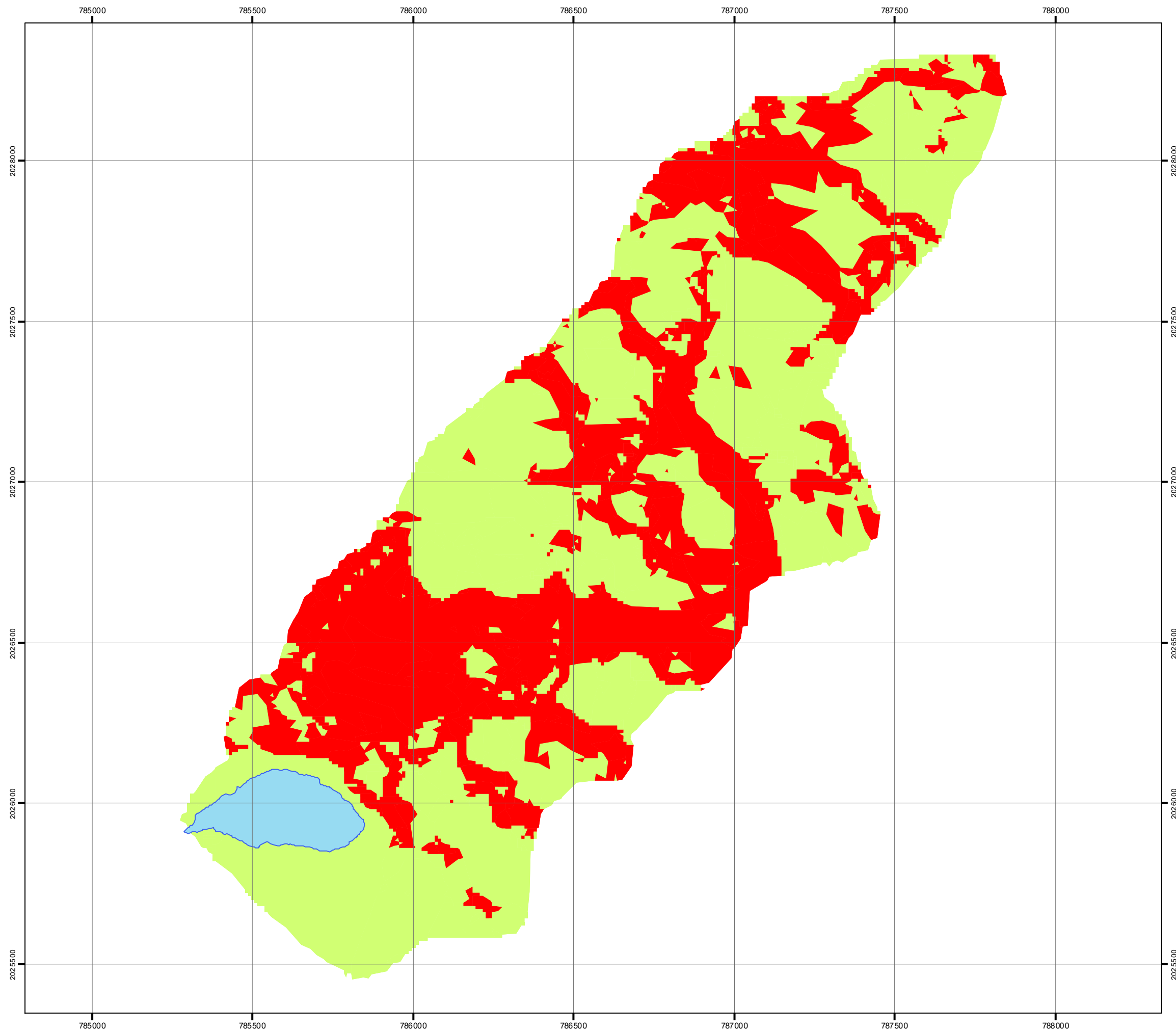
 5-8%

 8-16%

 16-30%

 30-45%

 >45%



MAPA N° 2

MAPA DE PENDIENTES > 30%



0 125 250 500 Metros

**SISTEMA DE COORDENADAS:
WGS 1984 UTM ZONA 18 N**



Fuente: Elaboración propia

Leyenda

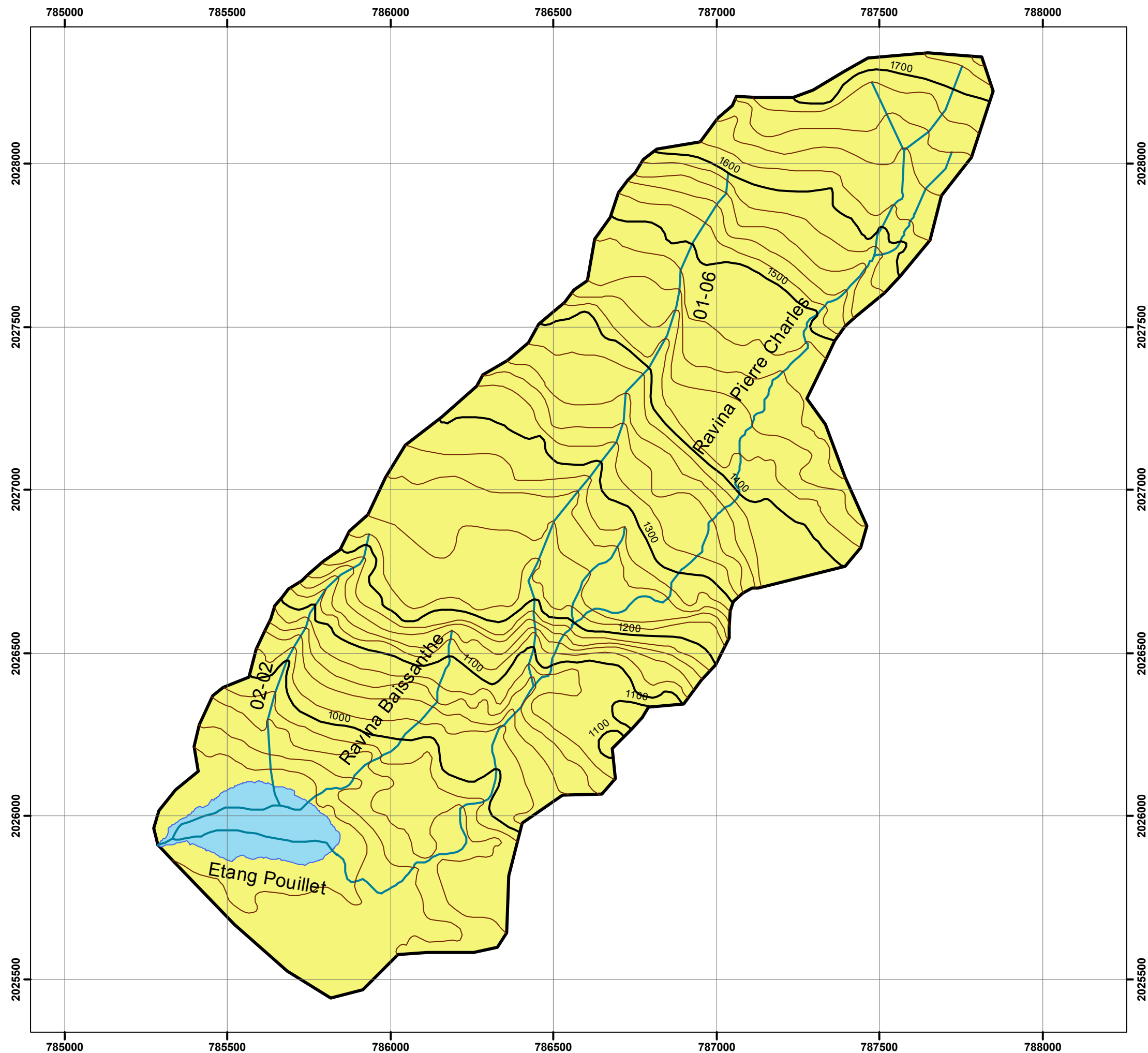
 Etang Pouillet

Pendientes

 0 - 30 %

 > 30 %

OBSERVACIONES: este mapa se realizó para distinguir pendientes al definir los distintos escenarios que componen la cuenca del "Etang Pouillet"



MAPA N° 3

MAPA DE LA RED DE DRENAJE



0 125 250 500 Metros







**SISTEMA DE COORDENADAS:
WGS 1984 UTM ZONA 18 N**

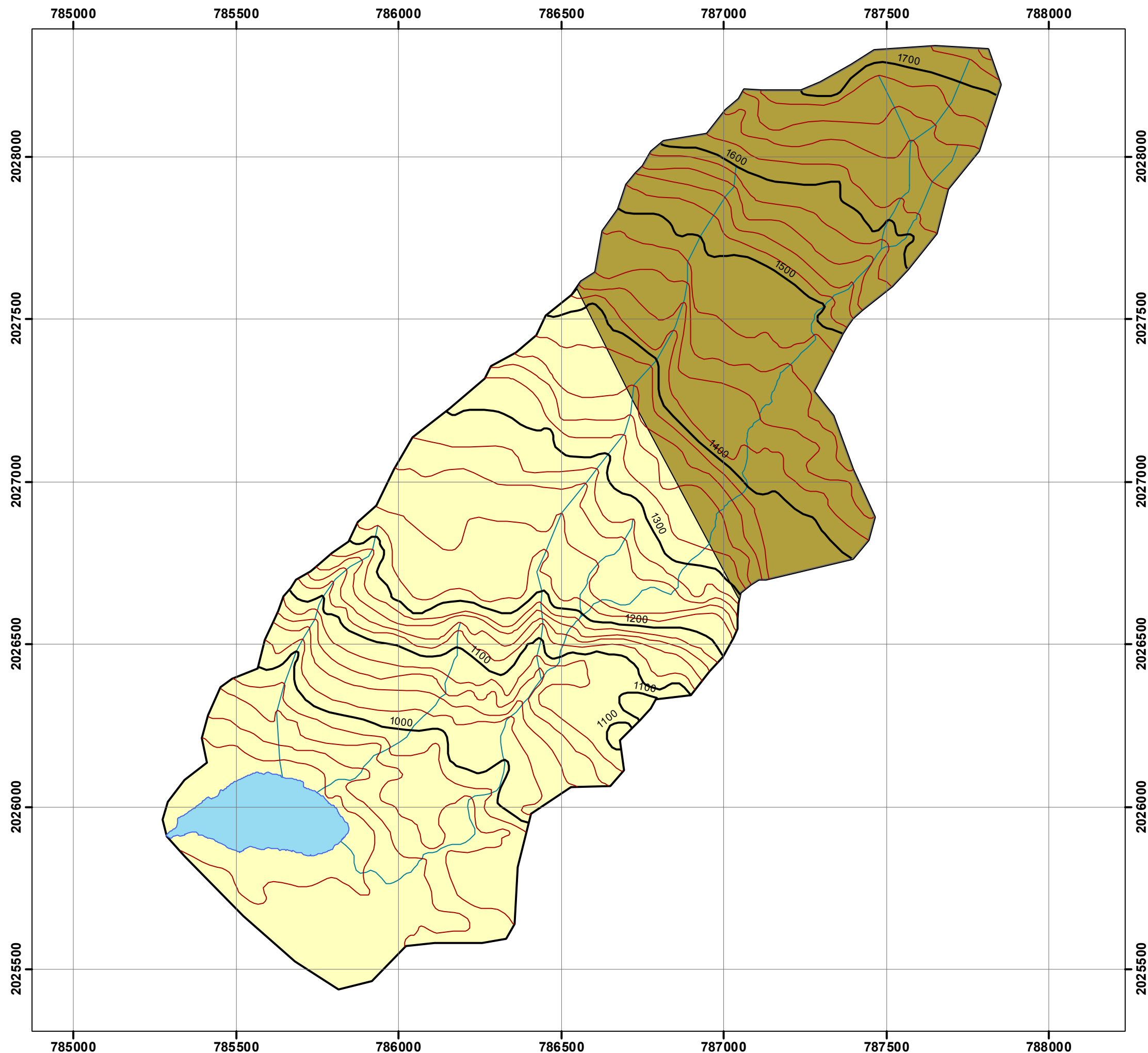


Fuente: Elaboración propia

Leyenda

-  Etang Pouillet
-  Curvas de nivel
-  Curvas de nivel maestras
-  Ravinas

OBSERVACIONES: equidistancia entre curvas de nivel 20 m.
Se presentan las ravinas por encima del lago para ver su trazado ya que el lago se encuentra representado por su superficie máxima, la cual se reduce bastante en estiaje.



MAPA N° 4

MAPA LITOLÓGICO



0 125 250 500 Metros








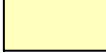
**SISTEMA DE COORDENADAS:
WGS 1984 UTM ZONA 18 N**

N

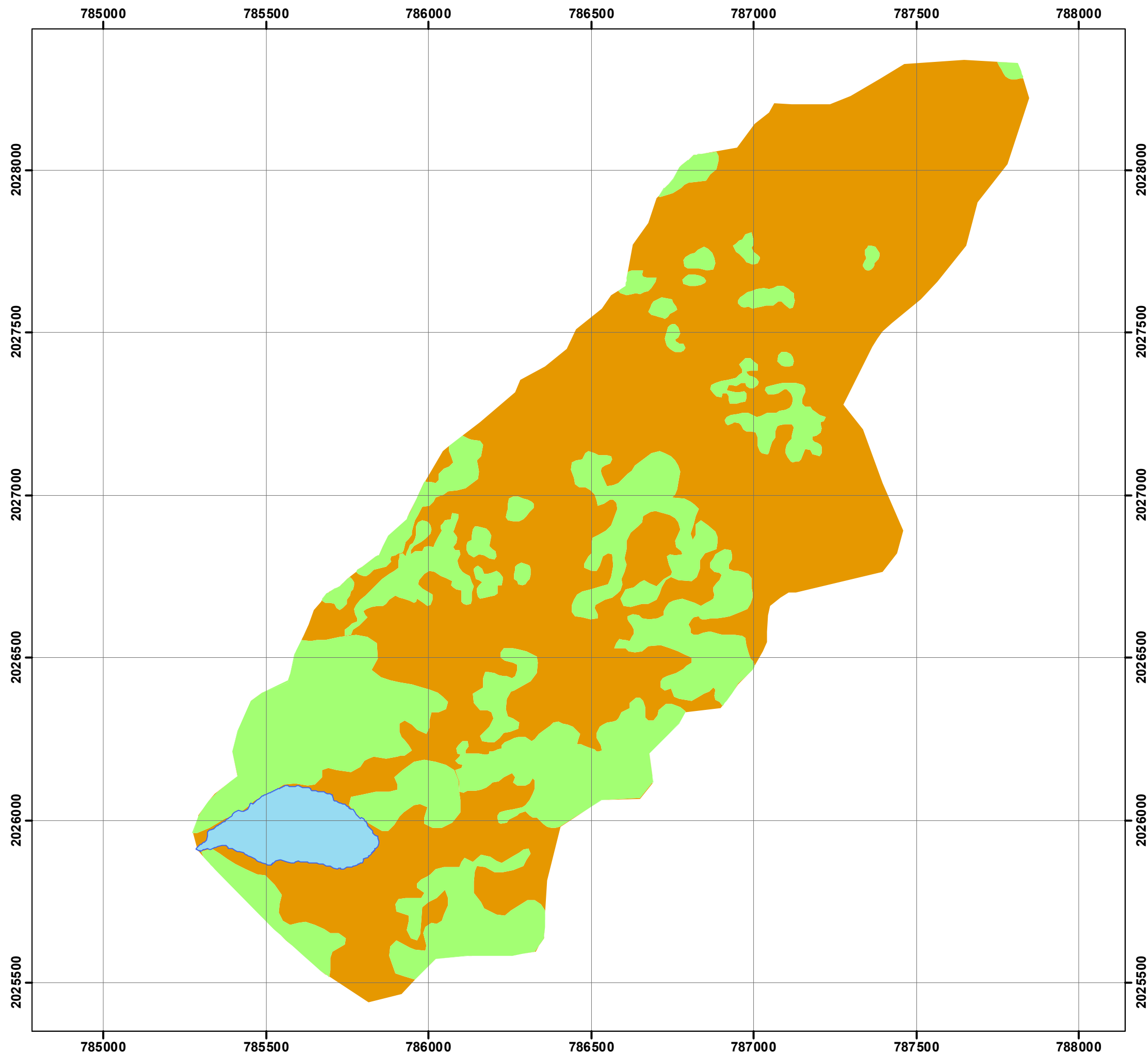


Fuente: Elaboración propia

Leyenda

-  Etang Pouillet
-  Curvas de nivel
-  Curvas de nivel maestras
-  Ravinas
- Litología**
-  Calizas duras
-  Margas y calizas margosas

OBSERVACIONES: equidistancia entre curvas de nive 20 m.
La litología en este mapa presenta una división tan recta ya que proviene del mapa litológico nacional de Haití a E: 1/250 000



MAPA N° 5

MAPA DE VEGETACIÓN



0 125 250 500 Metros






**SISTEMA DE COORDENADAS:
WGS 1984 UTM ZONA 18 N**

N

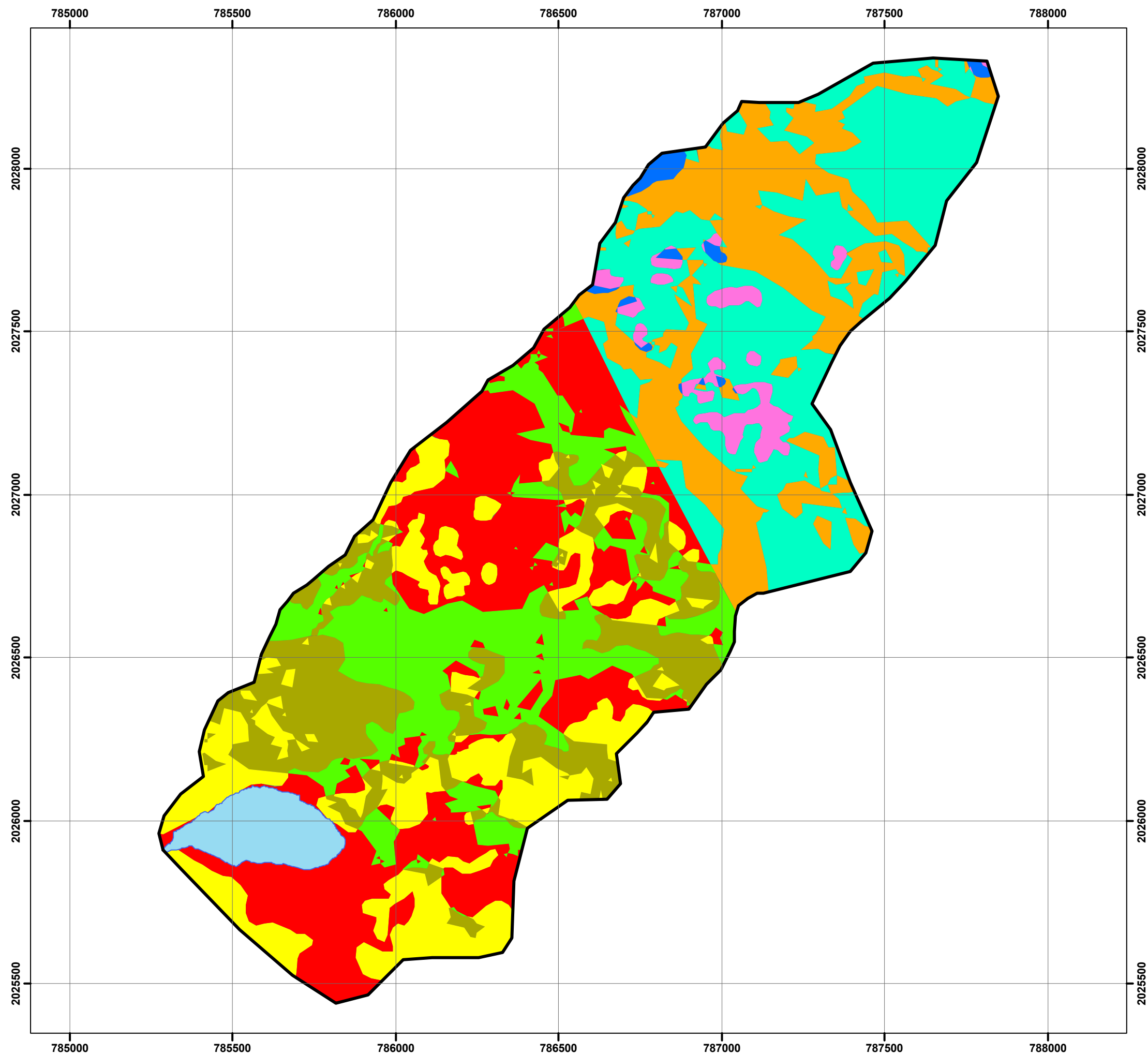


Fuente: Elaboración propia

Leyenda

-  Etang Pouillet
-  Especies perennes
-  Especies anuales

OBSERVACIONES: este mapa se ha hecho a partir de la interpretación de fotos aéreas con apoyo de información de campo.



MAPA N° 6

MAPA DE ESCENARIOS



0 125 250 500 Metros



SISTEMA DE COORDENADAS:
WGS 1984 UTM ZONA 18 N

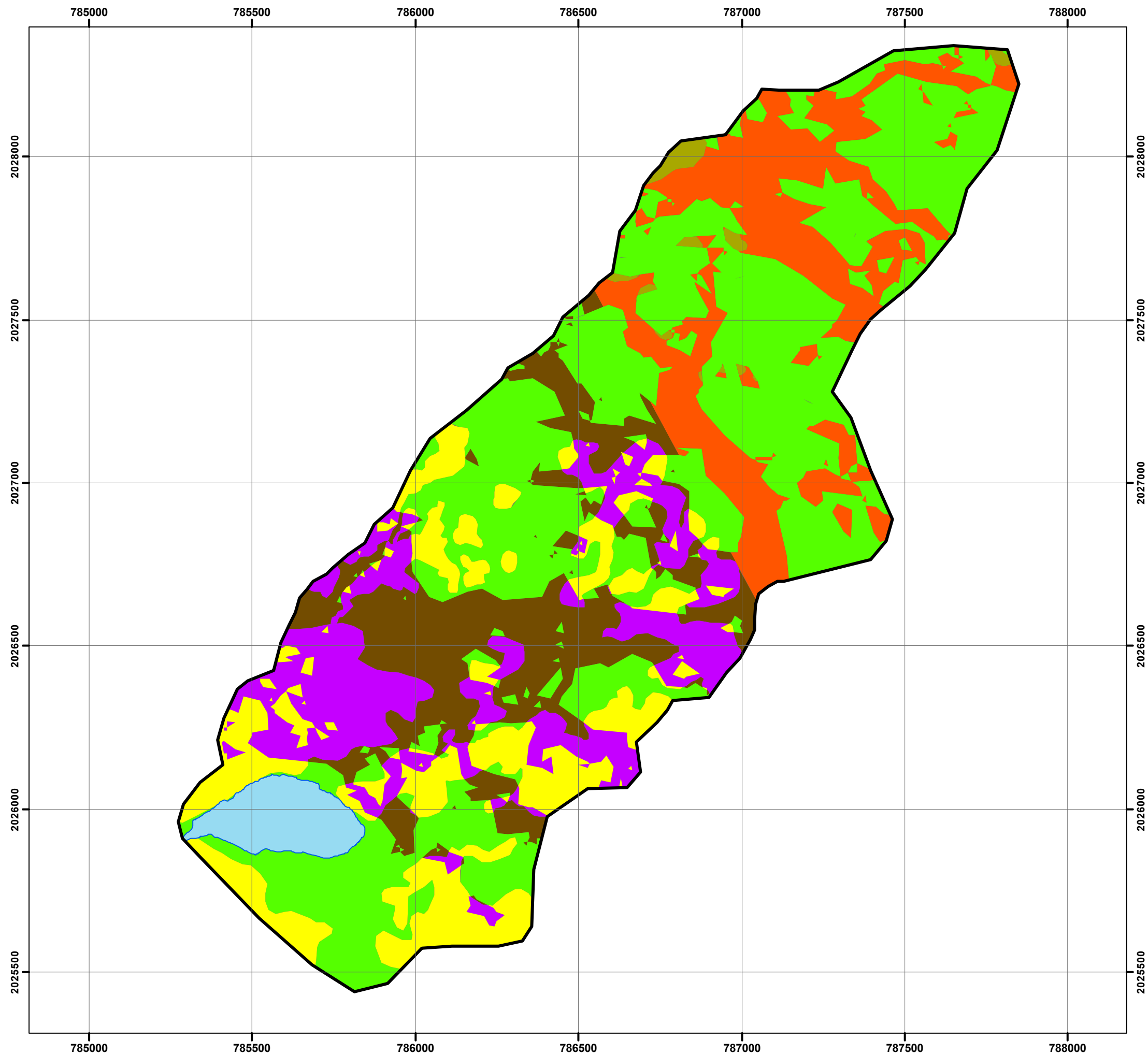


Fuente: Elaboración propia

Leyenda

	Etang Pouillet		Esc. 5
	Esc. 1		Esc. 6
	Esc. 2		Esc. 7
	Esc. 3		Esc. 8
	Esc. 4		

OBSERVACIONES: este mapa
esta hecho mediante la
superposición de los mapas
nº 2, nº 4 y nº 5



MAPA N° 7

MAPA DE FACTOR K DE LA U.S.L.E.



0 125 250 500 Metros



**SISTEMA DE COORDENADAS:
WGS 1984 UTM ZONA 18 N**

N



Fuente: Elaboración propia

Leyenda

 Etang Pouillet

Factor K

 0,18

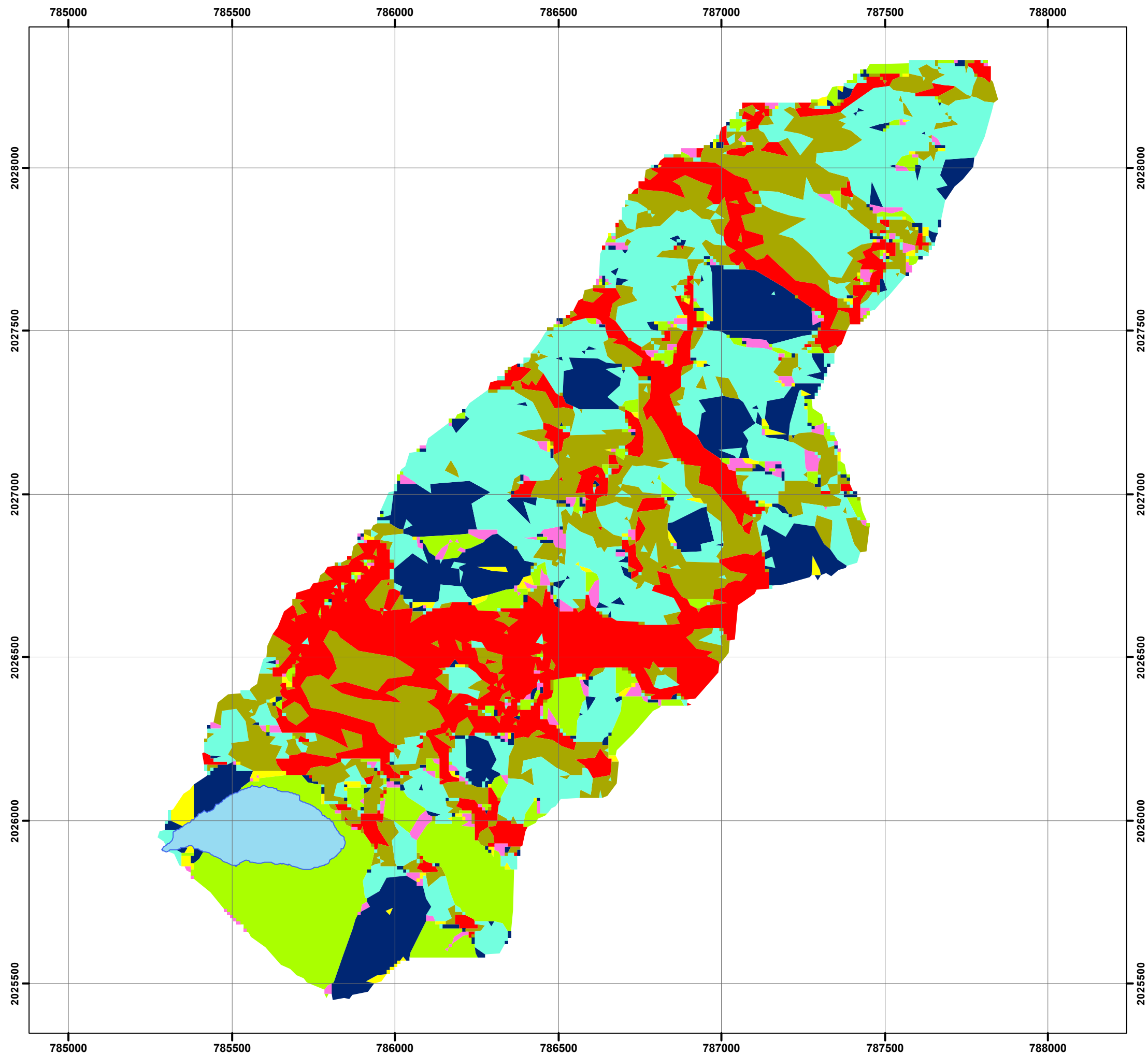
 0,19

 0,21

 0,22

 0,24

 0,30

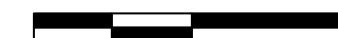


MAPA N° 8

MAPA DE FACTOR LS DE LA U.S.L.E.



0 125 250 500 Metros



**SISTEMA DE COORDENADAS:
WGS 1984 UTM ZONA 18 N**

N



Fuente: Elaboración propia

Leyenda

 Etang Pouillet

Factor LS

 0,17

 0,66

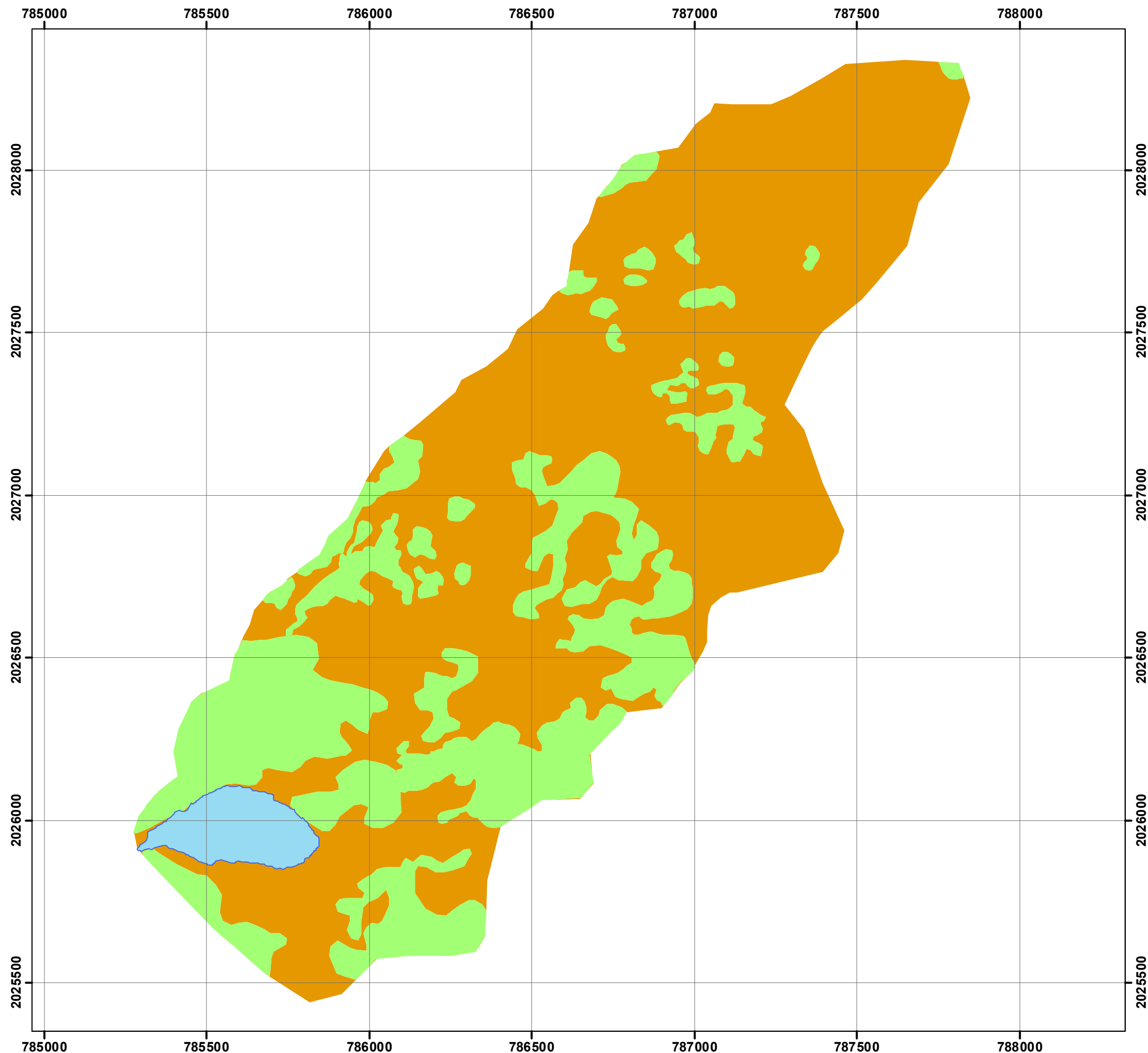
 1,44

 3,58

 9,27

 16,80

 27,90



MAPA N° 9

MAPA DE FACTOR C DE LA U.S.L.E.



0 125 250 500 Metros



**SISTEMA DE COORDENADAS:
WGS 1984 UTM ZONA 18 N**

N



Fuente: Elaboración propia

Leyenda

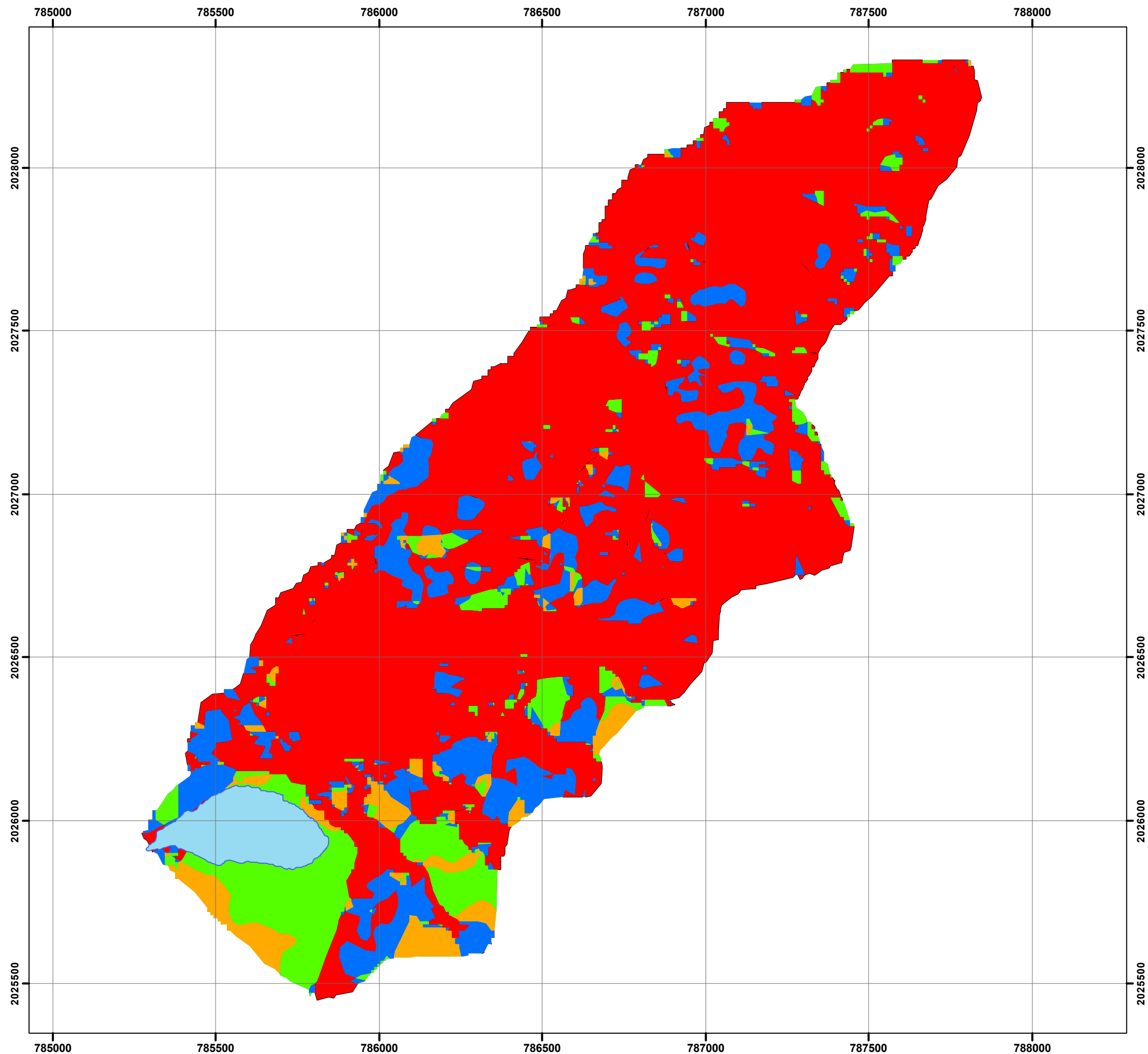
 Etang Pouillet

Factor C

 0,079

 0,495

OBSERVACIONES: este mapa de valores de factor C de la U.S.L.E. se ha hecho a partir del mapa de vegetación (mapa n° 5)



MAPA N° 10

MAPA DE LA U.S.L.E.



0 125 250 500 Metros

SISTEMA DE COORDENADAS:
WGS 1984 UTM ZONA 18 N



Fuente: Elaboración propia

Leyenda

 Etang Pouillet

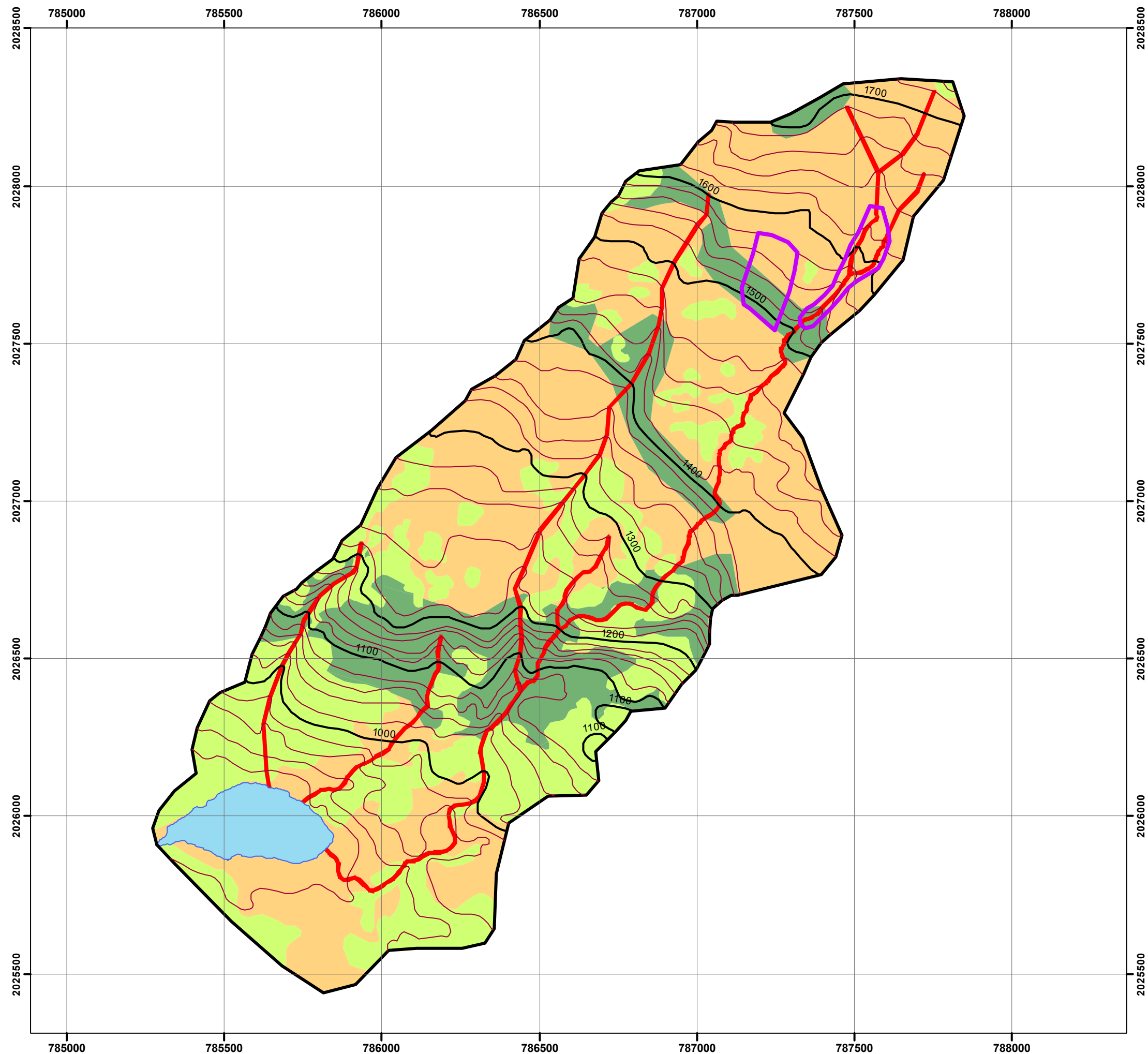
Pérdidas de suelo en t·ha/año

 < 10

 10 - 50

 50 - 200

 > 200



MAPA N° 11

MAPA DE ACTUACIONES



0 125 250 500 Metros



SISTEMA DE COORDENADAS:
WGS 1984 UTM ZONA 18 N

N



Fuente: Elaboración propia

Leyenda

- Etang Pouillet
- Curvas de nivel
- Curvas de nivel maestras
- Actuaciones**
- Sistemas agroforestales
- Reforestación
- Manejo de cultivos y actuaciones en ladera
- Actuaciones en cauces
- Zonas de manejo de cárcavas